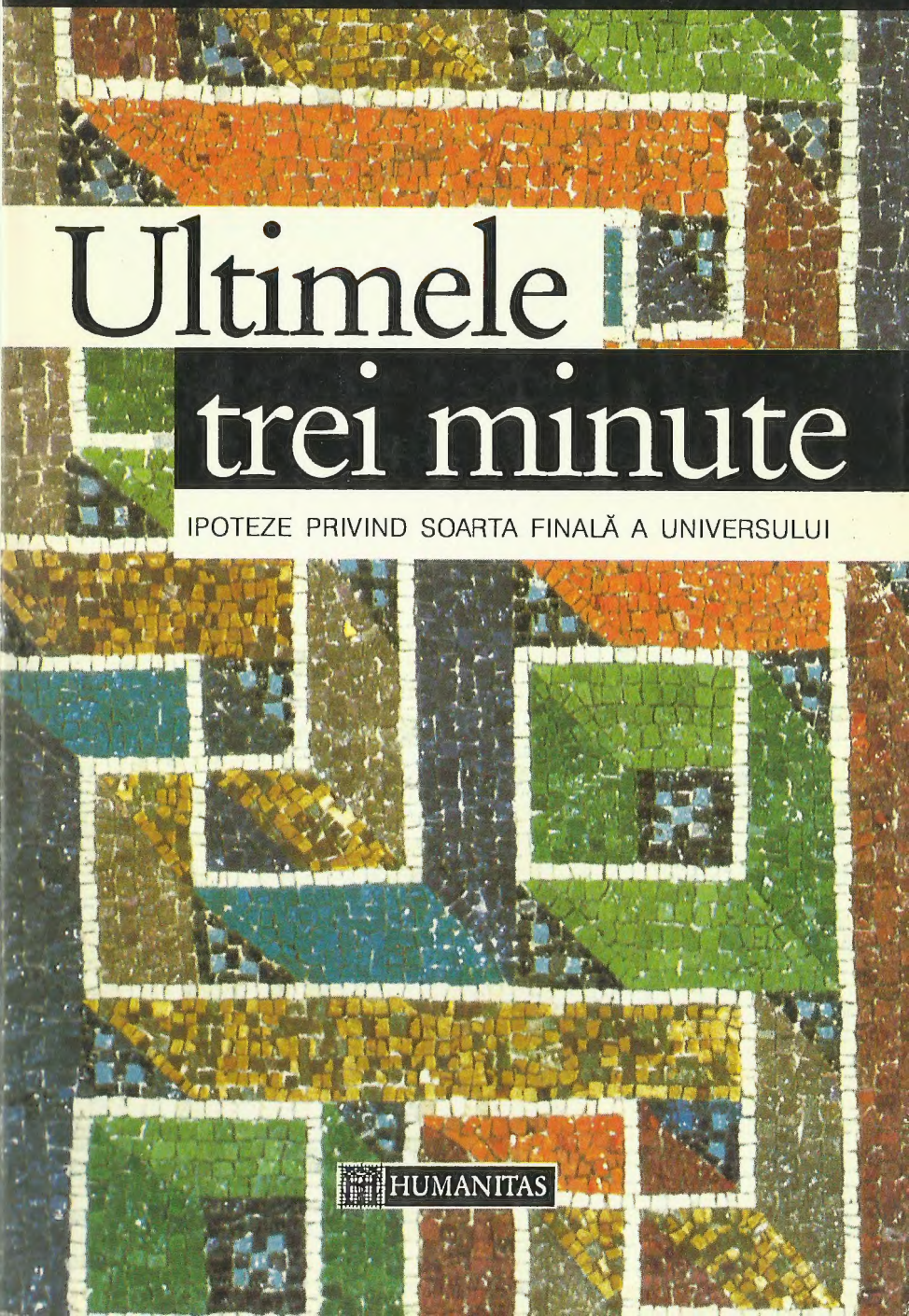
PAUL DAVIES



Ultimele trei minute

IPOTEZE PRIVIND SOARTA FINALĂ A UNIVERSULUI

HUMANITAS

PAUL DAVIES este profesor de fizică la Universitatea din Adelaide, autor al unor cărţi care s-au bucurat de mult succes atît în Australia, cît şi în Statele Unite şi Anglia, cum ar fi: THE MIND OF GOD, THE COSMIC BLUEPRINT şi SUPERFORCE. În prezent trăieşte în Australia.

PAUL DAVIES

ULTIMELE TREI MINUTE

Ipoteze privind soarta finală a universului

Traducere de
GABRIELA ZAMFIRESCU

HUMANITAS

Coperta
IOANA DRAGOMIRESCU MARDARE

PAUL DAVIES
THE LAST THREE MINUTES
BasicBooks, A Division of HarperCollins Publishers, Inc., New York
© Paul Davies, 1994
Numele şi marca „Science Masters" sînt proprietatea lui Brockman, Inc.

© Humanitas, 1994, pentru prezenta versiune românească

ISBN 973-28-0501-3

Şi astfel într-o zi,
Puternicele metereze
ale puternicului univers,
Încercuite de forţe ostile,
Vor plînge în faţa decăderii
şi se vor strivi în ruină.

LUCREŢIU, *De Rerum Natura*

PREFAŢĂ

Cînd eram student, la începutul anilor '60, se manifesta un puternic interes pentru problema originii universului. Teoria exploziei iniţiale, sau a big-bang-ului, care datează din anii '20, dar a fost luată în considerare în mod serios abia după 1950, era foarte bine cunoscută, dar departe de a convinge. Puternica teorie rivală care desfiinţa cu totul originile cosmice ale universului era încă, pe alocuri, scenariul cel mai la modă. A urmat în 1965 descoperirea radiaţiei cosmice termice de fond de către Robert Penzias şi Arno Wilson şi problema s-a modificat. Aceasta pleda desigur, cu claritate, pentru un început violent, fierbinte şi brusc al universului.

Cosmologii s-au străduit cu fervoare pentru a găsi implicaţiile acestei descoperiri. Cît de fierbinte era universul după un milion de ani de la explozia iniţială? Un an după ea? O secundă? Ce fel de procese fizice or fi avut loc în infernul primordial? A mai rămas oare vreo relicvă din zorii creaţiei care să păstreze urme ale condiţiilor extreme ce trebuie să fi dominat atunci?

Îmi amintesc bine de o conferinţă de cosmologie din 1968. Profesorul a încheiat prin a revizui teoria exploziei iniţiale în lumina descoperirii radiaţiei termice de fond. „Unii teoreticieni au încercat să sta-

bilească însăşi compoziţia chimică a universului, bazîndu-se pe procesele nucleare ce au avut loc în timpul primelor trei minute de la explozia iniţială"— a spus el cu un zîmbet. Întregul auditoriu a izbucnit în rîs. Părea o ambiţie absurdă să încerci să descrii starea universului la doar cîteva momente de la începuturile sale. Chiar şi arhiepiscopul James Ussher, din secolul al XVII-lea, ale cărui studii minuţioase în domeniul cronologiei biblice l-au făcut să afirme că universul a fost creat la 23 octombrie 4004 înainte de Cristos, n-a avut îndrăzneala de a preciza succesiunea evenimentelor din timpul primelor trei minute.

Acesta era ritmul progresului ştiinţific, iar la numai zece ani de la descoperirea radiaţiei termice de fond, primele trei minute deveniseră o temă standard pentru studenţi. O mulţime de cărţi s-au scris pe acest subiect. Apoi, în 1977, fizicianul specialist în cosmologie, Steven Weinberg, a publicat cartea cu un titlu sugestiv ales *The First Three Minutes* (*Primele trei minute*), care a devenit un best-seller. Ea s-a dovedit a fi o piatră de temelie în cadrul publicaţiilor din domeniul ştiinţei popularizate şi astfel iată-l pe unul din marii experţi mondiali prezentînd publicului larg o foarte convingătoare şi detaliată teorie despre procesele ce au avut loc după explozia iniţială.

În timp ce marele public abia începea să asimileze aceste noutăţi tulburătoare, savanţii continuau cercetările. Atenţia a început să se deplaseze de la ceea ce devenise cunoscut ca primele cîteva minute ale universului după explozia iniţială, către universul *foarte* timpuriu — adică o fracţiune infinitezimală de secundă după început. După vreo zece ani, Stephen Hawking, expertul englez în fizică matematică, a putut să descrie, plin de îndrăzneală, în cartea sa *A Brief History of*

Time (Scurtă istorie a timpului)*, ultimele idei despre prima bilionime de bilionime de bilionime dintr-o secundă. Hohotul de rîs cu care s-a încheiat conferinţa aceea din 1968 pare acum dogit.

O dată cu clarificarea teoriei exploziei iniţiale atît pentru marele public, cît şi pentru oamenii de ştiinţă, se acordă tot mai multă atenţie viitorului universului. Ne-am făcut acum o idee despre începutul universului, dar ne întrebăm cum îi va fi sfîrşitul. Ce putem spune despre soarta sa finală? Va sfîrşi el printr-o explozie sau printr-un scîncet, sau poate nu va sfîrşi deloc? Şi ce se va întîmpla cu noi? Va putea umanitatea, prin descendenţii ei, fie ei roboţi sau fiinţe în carne şi oase, să supravieţuiască pentru eternitate?

Este imposibil să nu fi dornic să afli răspunsul la astfel de întrebări chiar dacă Armageddon nu se află după colţ. Lupta noastră pentru supravieţuire pe planeta Pămînt, blocată la ora actuală de crizele făcute de noi, oamenii, este plasată într-un binevenit context nou, cînd sîntem constrînşi a reflecta la dimensiunile cosmologice ale existenţei noastre. *Ultimele trei minute* este povestea viitorului universului, atît cît îl putem prevedea, bazîndu-ne pe cele mai noi idei ale unor bine cunoscuţi fizicieni şi specialişti în cosmologie. Acesta nu este în întregime apocaliptic. Viitorul conţine de fapt promisiunea unui potenţial de dezvoltare şi unei bogăţii de experienţă fără precedent. Dar nu putem ignora faptul că ceea ce există la un moment dat poate înceta să mai existe.

Această carte este adresată marelui public. Nu sînt necesare prealabile cunoştinţe ştiinţifice sau de matematică pentru înţelegerea ei. Din cînd în cînd trebuie totuşi să aducem în discuţie numere foarte mari sau foarte mici şi ne este de ajutor să folosim o notare matematică

---

*Traducerea în limba română a acestei cărţi a apărut la editura Humanitas, în 1994, şi aparţine Michaelei Ciodaru (*n.ed.*).

compactă, cunoscută ca puterile lui 10, pentru a le reprezenta. Numărul o sută de miliarde, de exemplu, se scrie 100 000 000 000, ceea ce este destul de incomod. Sînt 11 zerouri după cifra 1, aşa că putem reprezenta numărul scriind 10^{11} — în cuvinte se spune „zece la puterea a unsprezecea". În mod similar, un milion este 10^6, iar un bilion 10^{12} şi aşa mai departe.* Ţineţi cont totuşi că această notaţie tinde să ascundă viteza de creştere a acestor numere: 10^{12} este de o sută de ori mai mare decît 10^{10} — deci este *mult* mai mare decît 10^{10}, deşi arată cam la fel. Puterile lui 10 pot reprezenta şi numere foarte mici, folosind exponenţi negativi. De exemplu, fracţia 1/1 000 000 000 (o miliardime) devine 10^{-9}, pentru că sînt nouă zerouri după cifra 1 din numitorul acestei fracţii.

În sfîrşit, aş dori să-l previn pe cititor că această carte este, necesarmente, foarte speculativă. În timp ce majoritatea ideilor ce urmează a fi prezentate se bazază pe înţelegerea obişnuită a adevărului ştiinţific, viitorologia nu poate să se bucure de acelaşi statut ca şi celelalte căutări ştiinţifice. Totuşi tendinţa de a specula în legătură cu domeniul final al universului este irezistibilă. Am scris această carte în spiritul întrebărilor unei minţi deschise. Scenariul de bază al unui univers născut din explozia iniţială, şi apoi extinzîndu-se, răcindu-se către un stadiu final de degenerare fizică sau poate către colapsul gravitaţional catastrofal este destul de bine stabilit din punct de vedere ştiinţific. Ceea ce este totuşi mult mai puţin sigur sînt procesele fizice dominante care pot avea loc în acest imens interval de timp.

---

* În lucrare s-a optat pentru folosirea cuvîntului *miliard* pentru a desemna 10^9 (adică 1 000 000 000), iar a cuvîntului *bilion* ca echivalînd cu 10^{12} (adică 1 000 000 000 000). *Bilion* este un termen ambiguu. El este întrebuinţat în unele ţări (Anglia, Germania etc.) ca egal cu o mie de miliarde (10^{12}), iar în altele (S.U.A. etc.) ca egal cu un miliard (10^9). În România se întîlneşte cu ambele valori, dar preponderent cu cea de 10^{12}, ceea ce explică opţiunea noastră (*n. ed.*).

Astronomii au deja o idee clară despre evoluţia generală a stelelor obişnuite şi devin din ce în ce mai încrezători în posibilităţile de a înţelege proprietăţile de bază ale stelelor neutronice şi ale găurilor negre; dar dacă universul va rezista mai multe trilioane de ani, pot avea loc subtile procese fizice despre ale căror efecte putem doar presupune că ar deveni, în cele din urmă, foarte importante.

În faţa problemei înţelegerii incomplete a naturii, tot ce putem face pentru a încerca să deducem soarta finală a universului este să folosim cele mai bune teorii existente şi să le extrapolăm către concluziile lor logice. Problema este că multe teorii ce vorbesc despre soarta universului rămîn de verificat experimental. Unele dintre procesele despre care discutăm — de exemplu, emisia undei gravitaţionale, dezintegrarea protonului şi radianţa găurilor negre — sînt adoptate cu entuziasm de către teoreticieni, dar nu au fost încă cercetate în mod ştiinţific. Fără îndoială, vor mai fi şi alte procese fizice despre care nu ştim încă nimic şi care ar putea modifica în mod spectaculos ideile prezentate aici.

Aceste incertitudini devin încă şi mai mari cînd ne gîndim la efectele posibile ale vieţii inteligente în univers. Aici intrăm în domeniul literaturii ştiinţifico-fantastice; totuşi, nu putem ignora faptul că fiinţele pot modifica, de-a lungul unor perioade imense de timp, la scară foarte mare comportarea sistemelor fizice. M-am hotărît să includ tema vieţii în cosmos, deoarece pentru mulţi cititori fascinaţia în faţa sorţii universului este indisolubil legată de grija lor faţă de soarta fiinţelor umane sau a descendenţilor lor îndepărtaţi. Trebuie să ne amintim totuşi că oamenii de ştiinţă nu au înţeles încă exact natura conştiinţei umane şi nici care sînt trăsăturile fizice necesare pentru a permite o activitate conştientă pînă în viitorul îndepărtat al universului.

Aş dori să le mulţumesc lui John Barrow, Frank Tipler, Jason Twamley, Roger Penrose şi Duncan Steel pentru discuţiile folositoare asupra subiectului cărţii, lui Jerry Lyons, editorul seriei, pentru citirea critică a acestui manuscris, precum şi Sarei Lippincott pentru excelenta ei muncă pe manuscrisul final.

CAPITOLUL 1

Ziua judecăţii de apoi

DATA: 21 august 2126. Ziua judecăţii de apoi.
LOCUL: Pămînt. În lungul şi în latul planetei, o populaţie disperată încearcă să se ascundă. Dar miliarde de oameni nu au unde merge. Unii coboară adînc sub pămînt, căutînd puţuri de mine scoase din uz, peşteri, sau pornesc spre mare în submarine. Unii sînt gălăgioşi, alţii nepăsători, alţii cu intenţii ucigaşe. Cei mai mulţi însă stau mohorîţi, aşteptînd sfîrşitul.

În înaltul cerului, o imensă rază de lumină este gravată în ţesătura celestă! Ceea ce apăruse ca o creionare subţire de radiaţii uşoare, ca o nebuloasă, s-a umflat zi după zi, alcătuind o învolburare de gaze incandescente în vidul spaţiului. În capătul cozii de vapori s-a format un bulgăre negru diform şi ameninţător. Dimensiunile mici ale capului cometei contrastează cu uriaşa ei putere distructivă. Se apropie de planeta Pămînt cu o viteză de 40 de mii de mile pe oră, adică 10 mile pe secundă — un bilion de tone de gheaţă şi rocă, destinate să lovească Pămîntul cu o viteză de 70 de ori mai mare decît viteza sunetului.

Omenirea nu poate decît să privească şi să aştepte. Oamenii de ştiinţă, care de mult şi-au abandonat telescoapele în faţa inevitabilului, au închis liniştiţi com-

puterele. Încercările nesfîrşite de simulare a dezastrului sînt oricum încă prea nesigure şi concluziile lor prea alarmante pentru a fi date publicităţii. Unii savanţi au elaborat strategii de supravieţuire folosind cunoştinţele lor tehnice, pentru a fi în avantaj faţă de concetăţenii obişnuiţi. Alţii şi-au planificat să observe cataclismul cu cît mai multă atenţie, păstrîndu-şi calitatea de oameni de ştiinţă pînă la sfîrşit şi transmiţînd date unor aparate îngropate adînc sub pămînt. Pentru posteritate.

Momentul impactului se apropie. În întreaga lume, milioane de oameni îşi verifică agitaţi ceasurile. **Sînt ultimele trei minute.**

Imediat deasupra Pămîntului, cerul se despică. O mie de mile cubice de aer sînt aruncate în lături. O flacără mai mare decît un oraş se arcuieşte spre Pămînt şi 15 minute mai tîrziu îl propulsează. Planeta se zguduie cu o forţă egală cu cea a zece mii de cutremure. O undă de şoc a aerului deplasat măturăsuprafaţa pămîntului, aplatizînd toate structurile, pulverizînd totul în calea sa. Terenul plat din jurul craterului de impact se ridică sub forma unor munţi de lichid, de cîteva mile înălţime, dezvelind măruntaiele pămîntului, într-un crater de circa 100 mile diametru. Peretele de rocă topită ondulează către exterior, aruncînd totul în aer ca pe o aluviune împinsă într-o mişcare lentă.

În interiorul craterului, milioane de tone de rocă sînt vaporizate. Cea mai mare parte din ele formează o mlaştină, restul este pulverizat direct în spaţiu. O cantitate mare de smoală este presărată pe jumătate din continent pentru a strivi totul pe o distanţă de sute, sau chiar mii de mile, provocînd distrugeri masive peste tot. Cîteva jeturi topite cad în ocean, ridicînd valuri uriaşe care se adaugă la haosul din jur. O coloană gigantică de praf se ridică în atmosferă, ascunzînd soarele şi înconjurînd întreaga planetă. Strălucirea

soarelui este înlocuită acum cu sinistra lumină a unui bilion de meteoriţi arzînd Pămîntul cu căldura lor, cînd materialul dislocuit se scufundă înapoi din spaţiu în atmosferă.

Scenariul precedent se bazează pe prezicerea că la 21 august 2126, cometa Swift-Tuttle va lovi Pămîntul. Dacă acest lucru s-ar întîmpla, devastarea globală ce ar urma fără îndoială ar distruge civilizaţia umană. Cînd această cometă ne-a vizitat în 1993, calculele preliminare au sugerat o coliziune posibilă în 2126. De atunci, calculele revizuite arată că această cometă va rata Pămîntul cu două săptămîni: o primejdie ocolită în ultima clipă, dar putem respira uşuraţi. Totuşi pericolul nu va dispărea total. Mai devreme sau mai tîrziu, Swift-Tuttle — sau alt obiect asemănător — va lovi totuşi Pămîntul. Estimările sugerează că circa 10 000 obiecte cu diametre de jumătate de kilometru sau mai mult gravitează în jurul Pămîntului, intersectîndu-şi orbitele. Ele îşi au originea în toate zonele mai reci ale sistemului solar. Unele sînt rămăşiţele cometelor care au fost prinse de cîmpurile gravitaţionale ale planetelor, altele provin din centura de asteroizi ce se găseşte între Marte şi Jupiter. Instabilitatea orbitală este cauza continuei deplasări a acestor corpuri mici dar fatale în interiorul sau exteriorul sistemului solar, constituind o ameninţare mereu actuală pentru Pămînt şi planetele surori.

Multe din aceste obiecte sînt capabile să facă mai mult rău omenirii decît toate armele nucleare puse la un loc. Este doar o chestiune de timp, pînă ce una va lovi. Atunci cînd acest lucru se va întîmpla, vor fi momente grele pentru omenire. Va urma o perioadă de întrerupere bruscă şi fără precedent în istoria speciei noastre. Pentru Pămînt, astfel de coliziuni sînt mai mult sau mai puţin ceva obişnuit. Impactele cu comete sau asteroizi de această magnitudine apar în medie la inter-

vale de cîteva milioane de ani. Se crede că unul sau mai multe astfel de evenimente au cauzat dispariţia dinozaurilor acum 65 milioane de ani. Am putea urma noi.

Credinţa în Armageddon este bine înrădăcinată în multe religii şi culturi. *Biblia* dă o imagine foarte vie a morţii şi distrugerii: *Din cer au apărut atunci săgeţi luminoase, tunete, bubuituri şi un puternic cutremur de pămînt, mult mai puternic decît a fost vreodată de cînd trăieşte omul pe pămînt... Oraşele din toate ţările se prăbuşesc... Toate insulele se scufundă şi munţii nu mai pot fi găsiţi, stînci uriaşe, de sute de kilograme fiecare, cad din cer asupra oamenilor care-l blestemă pe Dumnezeu pentru această teribilă năpastă.*

I se pot întîmpla o mulţime de lucruri ciudate Pămîntului — un obiect plăpînd aflat într-un univers supus unor forţe foarte violente. Totuşi planeta noastră găzduieşte viaţă şi a rămas ospitalieră pentru ea timp de cel puţin trei miliarde şi jumătate de ani, deci universul nu este în totalitate ostil.

Secretul succesului nostru pe planeta Pămînt este spaţiul. Mult spaţiu. Sistemul solar reprezintă o mică insulă de activitate într-un ocean de pustietate. Astfel, *cea mai apropiată* stea după soarele nostru se află la o distanţă de peste patru ani lumină. Pentru a vă face o idee despre cît de departe este această stea, gîndiţi-vă că lumina parcurge distanţa de 93 milioane mile de la Pămînt la soare în numai opt minute şi jumătate. În patru ani, ea parcurge peste 20 bilioane de mile.

Soarele este o stea pitică tipică ce se găseşte într-o anumită zonă a galaxiei noastre, Calea Lactee. Aceasta conţine circa 100 miliarde de stele ce au masele de la cîteva procente din masa soarelui şi pînă la de o sută de ori masa soarelui. Aceste obiecte împreună cu norii de gaze şi praful cosmic şi un număr nesigur de asteroizi, comete, planete, găuri negre se rotesc încet în

jurul centrului galactic. O astfel de imensă colecţie de obiecte cosmice poate da impresia că galaxia este un sistem foarte aglomerat, dar acest lucru este numai aparent, deoarece partea vizibilă a Căii Lactee măsoară circa 100 000 ani lumină în diametru. Forma sa este plată, cu un nucleu central şi cîteva braţe în spirală formate din stele şi gaz. Soarele nostru este situat într-un astfel de braţ şi este cam la 30 000 ani lumină faţă de centrul galaxiei.

După cîte cunoaştem, galaxia Calea Lactee nu are nimic excepţional faţă de alte galaxii. O galaxie asemănătoare numită Andromeda se află la două milioane ani lumină în direcţia constelaţiei cu acelaşi nume. Este vizibilă şi cu ochiul liber ca o cărare luminoasă de pulbere. Mai multe bilioane de galaxii, unele spiralate, altele eliptice, unele cu formă neregulată, abundă în universul observabil. Scara distanţelor este uriaşă. Telescoape foarte puternice ne dau imaginile unor galaxii aflate la o distanţă de mai multe miliarde de ani lumină. În unele cazuri, lumina care ne parvine de la ele a plecat spre noi înainte de formarea Pămîntului (patru miliarde de ani şi jumătate).

Acest spaţiu imens indică faptul că ciocnirile cosmice sînt rare. Cea mai mare ameninţare pentru Pămînt provine probabil de la noi înşine, din grădina proprie. Asteroizii nu-şi au, în mod normal, orbitele în apropierea Pămîntului. În general, ei sînt grupaţi între Marte şi Jupiter, alcătuind centura de asteroizi. Dar masa imensă a lui Jupiter poate să deregleze orbitele asteroizilor, făcîndu-i să plonjeze din cînd în cînd către soare şi astfel ameninţînd Pămîntul

Aici ameninţarea nu vine de la Jupiter, ci de la stele călătoare. Galaxia nu este nemişcată, ci într-o rotaţie înceată, iar stelele orbitează în jurul nucleului galactic. O rotaţie a soarelui împreună cu micul său sistem pla-

netar în jurul centrului galactic durează 200 milioane de ani, timp în care sînt posibile multe schimbări. Astfel, stele apropiate pot atinge în trecerea lor norul de comete, deplasînd cîteva spre soare. Aşa cum cometele plonjează către adîncul sistemului solar, tot astfel soarele evaporă o parte din materialul lor volatil, iar vîntul solar îl transformă într-o trenă lungă — faimoasa coadă a cometei. Foarte rar cometa se va ciocni cu Pămîntul în timpul şederii sale în interiorul sistemului solar. Ea produce dezastrul, dar vina o poartă steaua călătoare. Din fericire, imensele distanţe dintre stele ne feresc de prea multe astfel de întîlniri.

Şi alte obiecte cosmice pot să întîlnească drumul nostru în călătoria lor galactică. Nori uriaşi de gaz trec pe lîngă noi şi deşi sînt mai rarefiaţi chiar decît vidul de la laborator, pot influenţa vîntul solar şi valul de căldură provenit de la soare. Alte obiecte, chiar mai sinistre, se pot ascunde în adîncimile de cerneală ale spaţiului: planete neastîmpărate, stele neutronice, pitice brune, găuri negre — toate acestea şi multe altele pot năvăli peste noi, fără să ne prevină, provocînd un dezastru asupra sistemului solar.

Dar ameninţarea poate fi şi mai perfidă. Unii astronomi cred că soarele poate aparţine unui sistem de stele duble, ca multe alte stele din galaxie. Dacă există, steaua noastră companion — numită Nemesis sau Steaua Morţii — este prea neclară sau prea îndepărtată pentru a fi fost deja descoperită. Dar în mişcarea sa lentă în jurul soarelui, ea-şi poate face simţită prezenţa din punct de vedere gravitaţional, perturbînd periodic comete îndepărtate şi „pistonînd" în direcţia Pămîntului, pentru a produce o serie de impacte devastatoare. Geologii au descoperit că cele mai multe distrugeri ecologice se petrec la interval de circa 30 milioane de ani.

Privind problema mai departe, astronomii au observat galaxii întregi ce par a se ciocni. Ce şansă ar fi ca însăşi Calea Lactee să fie izbită de o altă galaxie? Existenţa unor stele cu mişcări foarte rapide ar reprezenta o oarecare dovadă în sensul că însăşi Calea Lactee ar fi fost deja „spartă" prin coliziunea cu galaxii mici vecine. Totuşi coliziunea a două galaxii nu înseamnă neapărat un dezastru pentru fiecare din stelele ce le formează. Galaxiile sînt atît de puţin populate, încît pot să se contopească fără a avea loc coliziuni directe între stele individuale.

Multă lume este uimită şi vrăjită de perspectiva judecăţii de apoi — rapida şi spectaculoasa distrugere a omenirii. Dar moartea violentă este mai puţin de temut decît decăderea înceată. Sînt foarte multe feluri în care Pămîntul poate deveni treptat neospitalier. O degradare ecologică lentă, schimbări climaterice, o mică variaţie în căldura emanată de soare — toate acestea ne pot ameninţa confortul şi chiar supravieţuirea pe fragila noastră planetă.

Oricum, astfel de schimbări vor avea loc în mii sau chiar în milioane de ani, iar omenirea poate fi capabilă să le combată folosind o tehnologie avansată. Astfel, instalarea treptată a unei noi epoci glaciare, de exemplu, nu va însemna un dezastru total pentru speciile noastre, avînd în vedere timpul pe care-l avem la dispoziţie pentru a reorganiza activităţile noastre. Putem presupune că tehnologia va continua să evolueze spectaculos în mileniile ce vor urma; dacă este aşa, putem spera că fiinţele omeneşti sau descendenţii lor vor putea prelua controlul asupra unor sisteme fizice mult mai largi, astfel încît să înlăture pînă la urmă dezastrele chiar la scară astronomică. Poate omenirea, în principiu, să supravieţuiască veşnic? Posibil. Dar trebuie să fim conştienţi că imortalitatea nu se obţine uşor şi

că s-ar putea ca ea să fie imposibilă. Universul însuşi se supune unor legi fizice care îi impun un ciclu de viaţă caracteristic: naştere, evoluţie şi — poate — moarte. Soarta noastră este indisolubil legată de soarta stelelor.

CAPITOLUL 2

Agonia universului

În anul 1856, fizicianul german Hermann von Helmholtz a făcut ceea ce s-a numit cea mai dezolantă prezicere întîlnită în istoria ştiinţei. Universul, pretindea Helmholtz, este în agonie. Baza acestei preziceri apocaliptice era aşa-numita a II-a lege a termodinamicii. Formulată la începutul secolului al XIX-lea ca o teorie ce trata despre eficienţa locomotivelor cu aburi, a II-a lege a termodinamicii — acum deseori numită simplu „a II-a lege" — a fost considerată curînd ca avînd valoare universală, chiar cu consecinţe cosmice.

În cea mai simplă interpretare, legea a II-a susţine că energia calorică se scurge de la fierbinte către rece. Aceasta este, fără îndoială, o proprietate evidentă a sistemelor fizice. Observăm cum lucrează această proprietate atunci cînd pregătim un fel de mîncare sau lăsăm o ceaşcă cu cafea fierbinte să se răcească; căldura se scurge din regiunile cu temperatură înaltă către cele cu temperatură mai joasă — nu încape nici o îndoială. Căldura se manifestă în interiorul materiei sub formă de agitaţie moleculară. Într-un gaz, cum ar fi aerul, moleculele se mişcă haotic şi se ciocnesc. Chiar şi într-un corp solid atomii oscilează cu vigoare. Cu cît corpul este mai fierbinte, cu atît agitaţia moleculară este mai mare. Dacă două corpuri cu temperaturi diferite

sînt puse în contact, agitaţia moleculară mai mare din corpul fierbinte se transmite curînd şi moleculelor corpului mai rece.

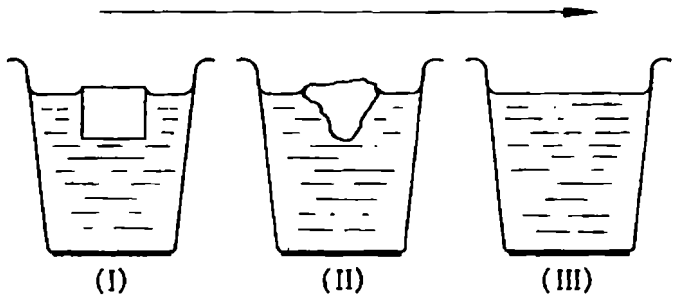


FIGURA 2.1 Săgeata timpului. Cubul de gheaţă care se topeşte defineşte o direcţionalitate în timp: căldura se scurge de la apa caldă către gheaţa rece. Un film arătînd ordinea (III), (II), (I), ar fi imediat recunoscut ca un truc. Această asimetrie este caracterizată ca o cantitate numită entropie care creşte pe măsură ce gheaţa se topeşte.

Deoarece căldura se scurge unidirecţional, procesul este asimetric în timp. Un film de animaţie arătînd căldura ce se scurge spontan de la rece la cald ar părea la fel de ciudat ca un rîu curgînd către deal sau ca picăturile de ploaie ridicîndu-se către nori. Astfel, putem identifica o direcţionalitate fundamentală a căldurii, adesea reprezentată printr-o săgeată indicînd din trecut către viitor. Această „săgeată a timpului" arată natura ireversibilă a proceselor termodinamice şi i-a fascinat pe fizicieni timp de 150 ani. Lucrările lui Helmholtz, Rudolf Clausius şi lordul Kelvin au condus la recunoaşterea semnificaţiei cantităţii numite entropie, ce caracterizează o schimbare ireversibilă în termodinamică. În cazul simplu al unui corp fierbinte în contact cu unul rece, entropia poate fi definită ca energie calorică împărţită la temperatură. Să analizăm o cantitate mică de căldură trecînd din corpul fierbinte în cel rece. Corpul fierbinte va pierde din entropie, iar cel rece va cîştiga entropie.

Pentru că este implicată aceeaşi cantitate de energie, dar temperaturile diferă, entropia cîştigată de corpul rece va fi mai mare decît cea pierdută de corpul fierbinte. Astfel, entropia totală a întregului sistem — corpul fierbinte împreună cu cel rece — creşte. O cerinţă a celei de-a II-a legi a termodinamicii este ca entropia unui astfel de sistem să nu scadă niciodată, pentru că dacă acest lucru s-ar întîmpla ar însemna că o parte din căldură ar fi trecut spontan de la rece către cald.

O analiză mai completă permite generalizarea acestei legi la toate sistemele închise: entropia nu scade niciodată. Dacă sistemul cuprinde un frigider care poate transfera căldura de la rece la cald, totalizînd entropia întregului sistem, trebuie să luăm în considerare energia disipată prin funcţionarea frigiderului. Însuşi procesul de disipare va creşte entropia. Totdeauna în acest caz entropia creată prin funcţionarea frigiderului face mai mult decît să compenseze reducerea de entropie rezultată din transferul de căldură de la rece la cald. În sistemele naturale, de asemenea, cum ar fi sistemele biologice sau formaţiunile de cristale, entropia unei părţi a sistemului adesea scade, dar acest lucru este compensat de o creştere de entropie în altă parte. Per total, entropia nu scade niciodată.

Dacă universul ca întreg poate fi considerat un sistem închis, bazîndu-ne pe faptul că nu există nimic „în afara" lui, atunci legea a II-a a termodinamicii face o importantă prezicere: entropia totală a universului nu scade niciodată. De fapt ea continuă să crească în mod neîndurător. Un bun exemplu se află chiar la pragul nostru cosmic — soarele, care în mod continuu trimite căldură către adînciturile reci ale spaţiului. Căldura merge mai departe în univers fără a se întoarce vreodată; este un spectaculos proces ireversibil.

O întrebare firească este: poate entropia universului să crească mereu? Imaginaţi-vă un corp fierbinte şi altul rece, puse în contact în interiorul unui container izolat din punct de vedere termic. Energia termică se scurge de la fierbinte către rece şi entropia creşte, dar în cele din urmă corpul rece se va încălzi, iar cel cald se va răci pînă ce ele ajung la aceeaşi temperatură. Cînd acest lucru s-a produs nu mai are loc nici un transfer de căldură. Sistemul din interiorul containerului va fi ajuns la o temperatură uniformă, o stare de stabilitate cu entropie maximă pe care o numim echilibru termodinamic.

Nici o altă schimbare nu mai este de aşteptat atît timp cît sistemul rămîne izolat; dar dacă sistemul este perturbat într-un fel, de exemplu introducîndu-se mai multă căldură din exteriorul containerului, va apărea activitate termică, iar entropia va creşte din nou către un maxim şi mai înalt.

Ce ne spun deci ideile de bază ale termodinamicii cu privire la schimbarea cosmologică şi astronomică? În cazul soarelui şi al majorităţii celorlalte stele, scurgerea căldurii poate continua mai multe miliarde de ani, dar nu inepuizabil. Căldura unei stele normale este generată de procesele nucleare din interiorul său. Aşa cum vom vedea, soarele va rămîne în cele din urmă fără combustibil şi, dacă nu se vor produce alte evenimente, se va răci pînă la temperatura spaţiului înconjurător.

Deşi Hermann von Helmholtz nu cunoştea nimic despre reacţiile nucleare (sursa imensei energii a soarelui era un mister la acea vreme), el a înţeles principiul general că orice activitate fizică în univers tinde către o stare finală de echilibru termodinamic, sau o entropie maximă, după care nimic important nu se va mai întîmpla niciodată. Această unică alunecare către echilibrul termodinamic a fost cunoscută pentru primii

specialişti în termodinamică drept „moartea termică" a universului. S-a recunoscut că sistemele individuale ar putea fi revitalizate prin perturbări din exterior, dar universul însuşi nu ar avea „exterior" prin definiţie, astfel încît nimic nu l-ar putea salva de la moartea termică atotcuprinzătoare. Părea inevitabilă.

Descoperirea faptului că universul este pe moarte ca o consecinţă inevitabilă a legilor termodinamicii a impresionat profund generaţii întregi de savanţi şi filozofi. Bertrand Russell, de exemplu, s-a simţit îndemnat să scrie următoarea sumbră apreciere în cartea sa *Why I Am Not a Christian* (*De ce nu sînt creştin*), p. 107: „...toată munca anilor, toată devoţiunea, toată inspiraţia, toată strălucirea geniului uman sînt destinate să se stingă în uriaşa moarte a sistemului solar, iar întregul templu al realizărilor omeneşti trebuie, în mod inevitabil, să fie îngropat dedesubtul ruinelor universului — toate aceste lucruri, chiar dacă nu foarte clare, sînt totuşi suficient de sigure, astfel încît nici o filozofie care le neglijează nu poate spera să dăinuiască. Numai cu acest eşafodaj de adevăruri, cu fundamentarea clară a disperării neînduplecate, poate sălaşul sufletului omenesc să fie construit în siguranţă pe mai departe."

Mulţi alţi scriitori au concluzionat din cea de-a II-a lege a termodinamicii şi implicaţiile sale asupra agoniei universului că universul este fără sens, iar existenţa umană pînă la urmă zadarnică. Voi reveni asupra acestui subiect în capitolele următoare şi voi analiza dacă ea poate sau nu să fie interpretată greşit.

Prezicerea morţii termice a cosmosului nu numai că ne spune ceva despre viitorul universului, dar şi despre trecutul său. Este clar că dacă universul merge în jos în mod ireversibil, cu o viteză finită, către sfîrşitul său, el nu poate să fi existat dintotdeauna. Motivul este simplu: dacă universul ar fi infinit de bătrîn, el ar fi murit deja.

Ceva care se îndreaptă în jos cu o viteză finită în mod evident nu poate să fi existat dintotdeauna. Cu alte cuvinte, universul trebuie să-şi fi început existenţa acum un număr finit de ani.

Este remarcabil faptul că această concluzie profundă nu a fost bine înţeleasă de savanţii secolului al XIX-lea. Ideea originii bruşte a universului într-o explozie iniţială trebuia să mai aştepte observaţiile astronomice ale anului 1920, dar o geneză clară într-un anumit moment din trecut pare să fi fost deja bine sugerată pe baze pur termodinamice.

Deoarece această concluzie evidentă nu se trăsese încă, astronomii secolului al XIX-lea erau uimiţi de un paradox cosmologic ciudat, cunoscut ca paradoxul lui Olbers, după numele astronomului german care l-a formulat; el punea o întrebare simplă dar semnificativă: De ce este cerul negru noaptea? La prima vedere, problema pare banală. Noaptea, cerul este întunecat deoarece stelele sînt atît de îndepărtate de noi încît ne apar palide. Dar imaginaţi-vă că spaţiul este nelimitat. În acest caz ar putea fi foarte bine o infinitate de stele. O infinitate de stele palide ar da totuşi multă lumină.

Este uşor de calculat lumina stelară cumulată de la o infinitate de stele care nu se schimbă, distribuite mai mult sau mai puţin uniform în spaţiu. Strălucirea unei stele scade cu distanţa, invers proporţional cu pătratul ei. Aceasta înseamnă că la o distanţă dublă strălucirea stelei este o pătrime din cea iniţială, la o distanţă triplă ea este de nouă ori mai mică şi aşa mai departe. Pe de altă parte numărul de stele creşte cu cît privim mai departe. Astfel, geometria elementară arată că numărul de stele aflate, să zicem, la două sute de ani lumină de noi este de patru ori mai mare decît cel al stelelor aflate la o sută de ani lumină, în timp ce numărul stelelor aflate la trei sute de ani lumină este de nouă ori cît

ultimul. Astfel *numărul* stelelor *creşte* proporţional cu pătratul distanţei lor, în timp ce *strălucirea* lor *descreşte* cu pătratul distanţei. Aceste două efecte se anulează reciproc, ducînd la rezultatul simplu că lumina ce vine de la toate stelele aflate la o distanţă dată este aceeaşi, indiferent de distanţă. Aceeaşi lumină totală ne vine de la stele aflate la două sute de ani lumină ca şi de la cele care se găsesc la o sută de ani lumină.

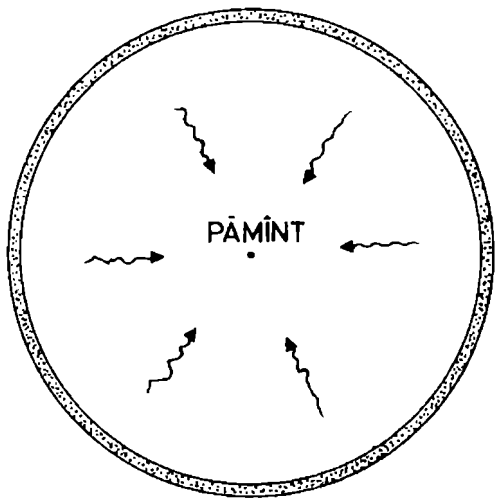


FIGURA 2.2 Paradoxul lui Olbers. Imaginaţi-vă un univers care nu se schimbă, populat de stele împrăştiate la întîmplare, cu o densitate medie uniformă. Este arătată o selecţie de stele ocupînd un înveliş sferic, subţire al spaţiului centrat pe Pămînt. (Stelele din afara învelişului au fost omise din desen.) Lumina stelelor din acest înveliş contribuie la fluxul total de lumină stelară ce cade pe Pămînt. Intensitatea luminii de la o anumită stea va diminua cu pătratul razei învelişului. Totuşi, numărul total de stele din cadrul învelişului va creşte proporţional cu pătratul razei învelişului. De aceea aceşti doi factori se anulează reciproc şi luminozitatea totală a învelişului este *independentă* de raza sa. Într-un univers infinit vor exista o infinitate de învelişuri şi — în aparenţă — un flux infinit de lumină ce va ajunge la Pămînt.

Problema începe atunci cînd adunăm lumina de la toate stelele aflate la orice distanţă posibilă. Dacă uni-

versul nu are margini, ar putea să nu existe nici o limită la cantitatea de lumină primită de Pămînt. Deci, departe de a fi negru, cerul ar trebui să fie noaptea infinit de strălucitor!

Problema se ameliorează oarecum cînd luăm în considerare mărimea finită a stelelor. Cu cît o stea este mai depărtată de Pămînt, cu atît ea pare mai mică. O stea mai apropiată va întuneca pe una mai depărtată, dacă ele se află pe aceeaşi linie de vedere. Într-un univers infinit aceasta se va întîmpla foarte des şi, luînd acest lucru în consideraţie, concluzia calculului iniţial se schimbă. În locul unui flux infinit de lumină ce soseşte pe Pămînt, fluxul este numai foarte mare, aproximativ echivalent discului solar care umple cerul, aşa cum s-ar întîmpla dacă Pămîntul s-ar afla la aproximativ un milion de mile de suprafaţa soarelui. Aceasta ar fi, într-adevăr, o poziţie foarte neconfortabilă; de fapt, Pămîntul ar fi vaporizat rapid de imensa căldură.

Concluzia că universul infinit ar trebui să fie un furnal cosmic este o reformulare a problemei termodinamicii pe care am discutat-o mai devreme. Stelele împrăştie căldură şi lumină în spaţiu şi această radiaţie se acumulează încet în spaţiul gol. Dacă stelele ar arde veşnic, ar părea la prima vedere că radiaţia ar trebui să aibă o intensitate infinită. Dar unele radiaţii vor lovi, în timp ce călătoresc prin spaţiu, alte stele şi vor fi reabsorbite. (Aceasta este echivalent cu a observa că stelele mai aproapiate le întunecă pe cele mai depărtate.) De aceea, intensitatea radiaţiei va creşte pînă cînd se stabileşte un echilibru între rata de emisie şi cea de absorbţie. Această stare de echilibru termodinamic va avea loc cînd radiaţia în spaţiu ajunge la aceeaşi temperatură cu a suprafeţei stelelor — cîteva mii de grade. Astfel, întregul univers ar trebui să fie plin de radiaţie termică la o temperatură de mai multe mii de grade,

iar cerul nopţii, în loc să fie negru, ar fi fosforescent la această temperatură.

Heinrich Olbers a propus o rezolvare a propriului său paradox. Avînd în vedere existenţa unei mari cantităţi de praf în univers, el a sugerat că acest material ar absorbi cea mai mare parte a luminii stelelor şi astfel cerul s-ar întuneca. Din nefericire, această idee, deşi foarte imaginativă, a fost fundamental greşită. Praful s-ar încălzi în cele din urmă şi ar începe să strălucească cu aceeaşi intensitate ca şi radiaţia absorbită.

O altă posibilă rezolvare este să abandonăm supoziţia că universul este infinit ca întindere. Să ne închipuim deci că stelele sînt numeroase, dar în număr finit, astfel că universul este format dintr-o mulţime uriaşă de stele înconjurate de un spaţiu gol întunecat şi infinit; atunci, cea mai mare parte din lumina stelelor se va scurge în spaţiul de dincolo de ele şi va fi pierdută. Dar şi această simplă gîndire are o fisură fatală, cunoscută şi deja familiară lui Isaac Newton în secolul al XVII-lea. Problema priveşte natura gravitaţiei. Orice stea atrage fiecare altă stea cu o forţă de gravitaţie. De aceea toate stelele din mulţime ar fi tentate să cadă împreună şi să se adune către centrul de gravitaţie. Astfel, dacă universul are un centru definit şi o margine, atunci el ar trebui să se prăbuşească în el însuşi. Un univers care nu se poate susţine, finit şi static este instabil şi supus colapsului gravitaţional.

Această problemă gravitaţională va reveni mai tîrziu în povestirea mea. Aici trebuie să vorbim despre modul ingenios în care Newton a abordat problema. Universul se poate prăbuşi către centrul său de gravitaţie, a raţionat Newton, numai dacă *are* un astfel de centru. Dacă universul este infinit ca întindere cît şi (în medie) uniform populat cu stele, atunci nu există nici centru, nici margine. O anumită stea va fi respinsă pe orice

drum de numeroasele vecine care o înconjoară ca într-o luptă gigantică în care fiecare frînghie trage în altă direcţie. În medie, toate aceste forţe se vor anula una pe alta şi steaua va sta pe loc.

Deci, dacă acceptăm raţionamentul lui Newton despre paradoxul colapsării cosmosului, revenim la un univers infinit şi la problema paradoxului lui Olbers. Se pare că trebuie să acceptăm ori pe una, ori pe alta. Dar, cu oarecare înţelepciune, putem găsi o cale printre spinii dilemei. Nu este greşită presupunerea că universul este infinit în *spaţiu*, ci presupunerea că este infinit în *timp*. Paradoxul cerului în flăcări s-a pus, deoarece astronomii au presupus că universul nu se schimbă, că stelele sînt statice şi au ars cu o intensitate nediminuată dintotdeauna. Dar acum ştim că amîndouă aceste presupuneri sînt greşite. În primul rînd, după cum am să explic pe scurt, universul nu este static, ci în expansiune. În al doilea rînd, nu se poate ca stelele să fi strălucit dintotdeauna, pentru că şi-ar fi epuizat de mult combustibilul. Faptul că ele strălucesc acum este o dovadă că universul a început să existe cu o perioadă finită de timp în urmă.

Dacă universul are o vîrstă finită, paradoxul lui Olbers cade imediat. Pentru a vedea de ce, să analizăm cazul unei stele foarte îndepărtate. Deoarece lumina călătoreşte cu o viteză finită (300 000 km pe secundă în vid), noi nu vedem steaua aşa cum este azi, ci cum *a fost* atunci cînd lumina a plecat de la ea. De exemplu, strălucitoarea stea Betelguese este situată la aproximativ 650 ani lumină depărtare, aşa încît noi o vedem aşa cum a fost acum 650 ani. Dacă universul ar fi început să existe, să zicem, acum zece miliarde de ani, înseamnă că nu am vedea nici o stea care se află la mai mult de zece miliarde de ani lumină depărtare de Pămînt. Universul ar putea fi infinit în spaţiu, dar dacă are o vîrstă

finită, rezultă că noi nu putem vedea dincolo de o anumită distanţă finită. Deci acumularea luminilor unui număr infinit de stele de *vîrstă* finită va fi finită şi posibil nesemnificativ de mică.

Aceeaşi concluzie reiese şi din consideraţii termodinamice. Timpul necesar stelelor pentru a umple spaţiul cu radiaţie termică şi a ajunge la o temperatură comună este imens pentru că este atît de mult spaţiu gol în univers. Pur şi simplu nu a fost timp suficient de la începutul universului pentru a se fi ajuns la un echilibru termodinamic pînă acum.

Toate acestea pun în evidenţă faptul că universul are o viaţă limitată. El a început să existe cu o perioadă finită de timp în urmă, îşi continuă activitatea, dar, inevitabil, va merge către o moarte termică, odată, în viitor. Se ivesc imediat o mulţime de întrebări. Cînd va veni sfîrşitul? Ce formă va avea el? Va fi încet sau brusc? Şi este totuşi de conceput că ideea morţii termice a universului, aşa cum o înţeleg de obicei oamenii de ştiinţă, se poate dovedi a fi greşită?

CAPITOLUL 3

Primele trei minute

Cosmologii, ca şi istoricii, înţeleg existenţa cheii viitorului în trecut. În capitolul precedent am explicat cum legile termodinamicii sugerează un univers cu o longevitate limitată. Este unanim acceptată pentru savanţi ideea că originea întregului cosmos se află în explozia iniţială de acum circa 10–20 miliarde de ani şi că acest eveniment a aşezat universul pe drumul destinului său final. Luînd în considerare cum a început universul şi cercetînd procesele ce au avut loc în faza lui primară, pot fi adunate indicii importante privind viitorul său.

Ideea că universul nu a existat dintotdeauna este adînc înrădăcinată în cultura Occidentului. Deşi filozofii greci aveau în vedere posibilitatea unui univers etern, toate religiile importante ale Occidentului au susţinut faptul că universul a fost creat de Dumnezeu într-un anumit moment din trecut.

Eventualitatea unei origini bruşte printr-o explozie iniţială se impune din punct de vedere ştiinţific. Cea mai directă dovadă vine de la studiul calităţii luminii de la galaxiile foarte îndepărtate. În anii '20, astronomul american Edwin Hubble, urmărind observaţiile minuţioase ale lui Vesto Slipher, un expert în nebuloase

care a lucrat la observatorul Flagstaff, în Arizona, şi-a dat seama că galaxiile mai îndepărtate apar uşor mai roşii la culoare decît cele mai apropiate. Hubble a folosit telescopul de 100 inch de la Mount Wilson pentru a măsura această înroşire cu grijă şi a trasat un grafic. A găsit că fenomenul este sistematic: cu cît o galaxie este mai depărtată de noi, cu atît ne apare mai roşie.

Culoarea luminii este legată de lungimea de undă. În spectrul luminii albe albastrul este la sfîrşitul undelor scurte, iar roşul se găseşte la sfîrşitul undelor lungi. Colorarea în roşu a galaxiilor foarte îndepărtate arată că lungimea de undă a luminii lor a fost cumva mărită. Determinînd cu grijă poziţiile liniilor caracteristice în spectrele multor galaxii, Hubble a putut să confirme acest efect. El a arătat că alungirea undelor de lumină se datorează faptului că universul este în expansiune. Cu această declaraţie memorabilă, Hubble a pus bazele cosmologiei moderne.

Natura universului în expansiune a derutat pe multă lume. Din punctul de vedere al Pămîntului, s-ar părea că galaxiile îndepărtate fug de noi. Totuşi, aceasta *nu* înseamnă că Pămîntul stă în centrul universului; modelul expansiunii este (în medie) acelaşi peste tot în univers. Orice galaxie — sau mai bine-zis orice roi de galaxii — se îndepărtează faţă de oricare alta. Acest lucru este mai bine ilustrat de creşterea spaţiului *între* galaxii, decît de mişcarea roiurilor galactice *prin* spaţiu.

Faptul că spaţiul se poate dilata ar părea surprinzător, dar este un concept ce a fost cunoscut oamenilor de ştiinţă încă din 1915, cînd Einstein şi-a publicat teoria generală a relativităţii. Teoria susţine faptul că gravitaţia este de fapt o manifestare a curbării sau deformării spaţiului (strict spaţio-temporal). Într-un anumit sens, spaţiul este elastic şi se poate strînge sau

dilata într-o manieră ce depinde de proprietăţile gravitaţionale ale materialului conţinut. Ideea aceasta a fost din plin confirmată de observaţii.

Conceptul de bază al expansiunii spaţiului poate fi înţeles cu ajutorul unei analogii simple. Închipuiţi-vă un şir de nasturi, reprezentînd roiuri galactice, cusuţi pe o sfoară de elastic (v. fig. 3.1). Acum presupuneţi că întindeţi sfoara, trăgînd de capete. Toţi nasturii se deplasează unii faţă de alţii. Orice nasture aţi lua ca punct de reper, cei vecini par că se îndepărtează de el. Totuşi, expansiunea este aceeaşi peste tot; nu există nici un centru privilegiat. Bineînţeles, aşa cum am descris-o eu, *există* un nasture central, dar acest lucru este irelevant pentru modul în care are loc expansiunea sistemului. Am putea elimina acest detaliu dacă sfoara cu nasturi ar fi infinit de lungă sau s-ar închide într-un cerc.

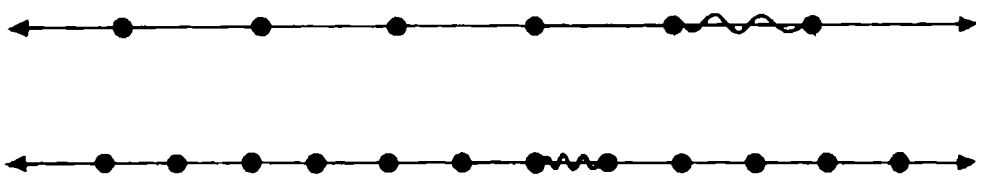


FIGURA 3.1 Un model unidimensional de univers în expansiune. Nasturii reprezintă roiurile galactice, iar sfoara elastică reprezintă spaţiile. Pe măsură ce sfoara se întinde, nasturii se depărtează unii de alţii. Întinderea foloseşte pentru a mări lungimea de undă a undei ce se propagă de-a lungul sforii. Aceasta corespunde deplasării spre roşu a luminii descoperită de Hubble.

Văzuţi de la oricare dintre nasturi, vecinii cei mai apropiaţi ar părea că se îndepărtează cu o viteză egală cu jumătate din cea a următorilor şi aşa mai departe. Cu cît un nasture este mai departe de reperul central, cu atît

el se depărtează mai repede. În acest mod de expansiune viteza îndepărtării este *proporţională* cu distanţa — o relaţie de o deosebită importanţă. Înarmaţi cu această imagine, putem să ne închipuim acum undele luminoase călătorind printre nasturi, sau roiuri galactice, în spaţiul în expansiune. Cum spaţiul se întinde, se îndepărtează şi undele. Aceasta explică deplasarea cosmologică spre roşu. Hubble a descoperit faptul că deplasarea spre roşu este proporţională cu distanţa, exact aşa cum tocmai am ilustrat în simpla analogie pe care am prezentat-o.

Dacă universul se află în expansiune, înseamnă că el trebuie să fi fost mai mic în trecut. Observaţiile lui Hubble şi cele mult îmbunătăţite făcute ulterior ne dau o măsură a *ratei* expansiunii. Dacă am putea „să derulăm înapoi filmul cosmic" am găsi toate galaxiile contopindu-se în trecutul îndepărtat. Din cunoaşterea ratei expansiunii actuale am putea deduce că acest stadiu de contopire trebuie să fi avut loc cu multe miliarde de ani în urmă. Totuşi este greu să precizăm cu exactitate cînd, din două motive. În primul rînd măsurătorile sînt greu de făcut cu precizie şi sînt supuse la o mulţime de erori posibile. Deşi telescoapele moderne au mărit cu mult numărul de galaxii studiate, rata expansiunii este încă neclară pînă la un factor sau doi şi este subiectul unei vii controverse. În al doilea rînd, măsura în care universul se extinde nu poate rămîne constantă în timp. Aceasta se datorează forţei de gravitaţie care acţionează între galaxii şi desigur între orice forme de materie şi energie din univers. Gravitaţia acţionează ca o frînă care reţine galaxiile din fuga lor spre exterior. În consecinţă, rata expansiunii scade treptat în timp. Rezultă că universul trebuie să se fi extins mai repede în trecut decît o face astăzi. Dacă trasăm un grafic al măsurii unei anume regiuni a universului în funcţie de timp,

găsim o curbă a formei generale indicate în fig. 3.2. Din acest grafic ne dăm seama că universul a fost mai întîi foarte comprimat, s-a extins foarte repede şi în timp densitatea materiei a tot scăzut o dată cu creşterea volumului universului. Dacă graficul este adus înapoi la început (cota 0 în figură), aceasta sugerează că universul a început cu o măsură *zero* şi o rată *infinită* a expansiunii. Cu alte cuvinte, materialul din care sînt făcute toate galaxiile pe care le vedem astăzi a apărut dintr-un singur punct explodînd rapid! Aceasta este o descriere idealizată a aşa-numitei explozii iniţiale.

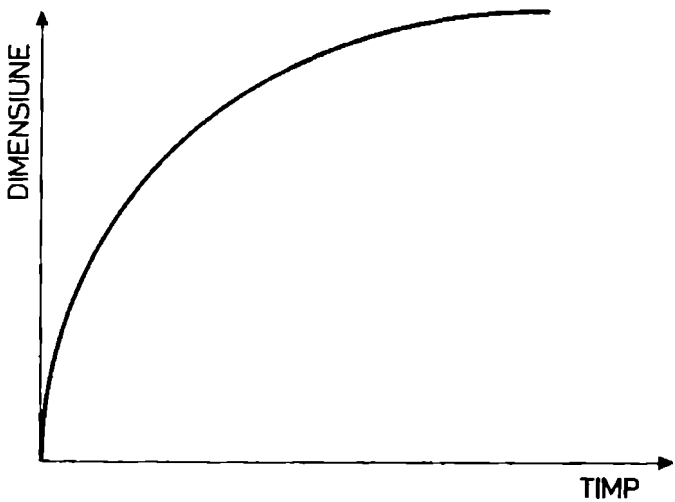


FIGURA 3.2 Rata expansiunii universului descreşte constant cu timpul, aproximativ în maniera arătată. În acest model simplu, rata expansiunii este infinită în punctul marcat cu zero pe axa timpului. Acest punct corespunde exploziei iniţiale.

Dar sîntem oare îndreptăţiţi să extrapolăm curba înapoi, către început? Mulţi cosmologi cred că da. Dat fiind faptul că ne aşteptăm ca universul să fi avut un început (pentru motivele pe care le-am discutat în capitolul precedent), explozia iniţială pare a fi fost asta. Dacă este aşa, atunci începutul curbei marchează mai mult decît doar o explozie. Să ne reamintim că expan-

siunea figurată pe grafic este a *spaţiului însuşi*, astfel încît un volum zero nu înseamnă numai că materia este comprimată la o densitate infinită. Înseamnă că *spaţiul* este comprimat pînă la nimic. Cu alte cuvinte, explozia iniţială este originea spaţiului, cît şi a materiei şi energiei. Este foarte important să realizăm că, după această imagine, nu a fost un vid preexistent în care să fi avut loc explozia iniţială.

Aceeaşi idee de bază se aplică şi timpului. Densitatea infinită a materiei şi comprimarea infinită a spaţiului marchează o limită a timpului. Motivul este că timpul, ca şi spaţiul, este dilatat de gravitaţie. Din nou, acest efect este o consecinţă a teoriei generale a relativităţii a lui Einstein şi a fost direct verificată experimental. Condiţiile de la explozia iniţială implică o deformare *infinită* a timpului, astfel încît însuşi conceptul de timp (şi spaţiu) nu poate fi extins înapoi dincolo de explozia iniţială. Concluzia care pare să se impună în faţa noastră este că explozia iniţială a fost însuşi începutul tuturor lucrurilor fizice: spaţiu, timp, materie şi energie. Este evident lipsit de sens să ne întrebăm (şi multă lume o face) ce s-a întîmplat înainte de explozia iniţială sau ce a făcut ca explozia să aibă loc. *Nu* a existat un înainte. Şi acolo unde nu există timp, nu poate exista nici cauzalitate în sensul obişnuit.

Dacă teoria exploziei iniţiale, cu ciudatele sale implicaţii asupra originii cosmice, s-ar baza numai pe dovada expansiunii universului, probabil că mulţi cosmologi ar respinge-o. Totuşi o altă dovadă importantă în susţinerea teoriei a apărut în 1965 o dată cu descoperirea că universul este scăldat în radiaţie termică. Această radiaţie vine la noi din spaţiu cu aceeaşi intensitate în toate direcţiile cerului şi a călătorit aproximativ nemodificată de la scurt timp după explozia iniţială. Aceasta furnizează deci un instantaneu al stării

universului primordial. Aspectul radiaţiei remanente este asemănător ca strălucire cu cel din interiorul unui furnal care a ajuns la o stare de echilibru termodinamic, o formă de radiaţie cunoscută fizicienilor sub numele de radiaţie a „corpului negru". Sîntem astfel conduşi la concluzia că universul timpuriu a fost o dată într-o asemenea stare de echilibru, cu toate regiunile la aceeaşi temperatură.

Măsurătorile radiaţiei termice de fond arată că ea are aproximativ trei grade peste zero absolut (zero absolut este aproximativ –273° C), dar temperatura se schimbă încet cu timpul. Atunci cînd universul se extinde, el se răceşte după o formulă simplă: la dublarea razei temperatura se înjumătăţeşte. Această răcire are acelaşi efect ca deplasarea spre roşu a luminii; atît radiaţia termică, cît şi lumina sînt unde electromagnetice şi lungimea de undă a radiaţiei termice, de asemenea, creşte o dată cu expansiunea universului. Radiaţia de temperatură scăzută are unde mai lungi (în medie) decît cea cu o temperatură înaltă. Din nou, derulînd filmul înapoi, vedem că universul trebuie să fi fost mult mai cald în trecut.

Radiaţia însăşi datează cam de la 300 000 de ani după explozia iniţială cînd universul se răcise la o temperatură de aproximativ 4 000° C. Înainte de aceasta, gazul primordial, constînd în primul rînd din hidrogen, era o plasmă ionizată şi de aceea opacă la radiaţia electromagnetică. O dată cu scăderea temperaturii, plasma s-a transformat în gazul hidrogen (neionizat), care este transparent, permiţînd radiaţiei să se mişte nestingherită prin el.

Radiaţia cosmică de fond este caracteristică nu numai pentru spectrul său de forma radiaţiei corpului negru, dar şi pentru uniformitatea sa de-a lungul cerului. Temperatura radiaţiei variază numai cu 1 la 100 000 în

diferite direcţii ale spaţiului. Această netezime indică faptul că universul trebuie să fie foarte omogen pe scară mare, o dată ce orice îngrămădire sistematică de materie într-o anumită regiune a spaţiului sau de-a lungul unei anumite direcţii s-ar face simţită printr-o variaţie de temperatură. Pe de altă parte, ştim că universul nu este complet uniform. Materia este agregată în galaxii, iar galaxiile formează în general roiuri. Acestea la rîndul lor se unesc în superroiuri. La scara mai multor milioane de ani lumină, universul are un fel de structură spumoasă cu goluri uriaşe, înconjurate de fîşii şi bucăţi de galaxii.

Uriaşa scară a roiurilor din univers trebuie să fi crescut într-un anume fel dintr-un stadiu originar mai neted. Deşi multe mecanisme fizice par a fi fost responsabile pentru aceasta, cea mai plauzibilă explicaţie pare a fi o atracţie gravitaţională înceată. Dacă teoria exploziei iniţiale este corectă, ne-am aştepta să vedem vreo dovadă a stadiilor iniţiale în procesul de formare a roiurilor, imprimată în radiaţia cosmică de fond. În 1992, un satelit de la NASA numit COBE (de la „Cosmic Background Explorer" — exploratorul radiaţiei cosmice de fond) a arătat că radiaţia nu este chiar uniformă, netedă, dar conţine, fără posibilităţi de eroare, şi pulsaţii sau variaţii ale intensităţii de la un loc la altul din cer. Aceste mici neregularităţi par a fi începutul lin al unor procese de formare a superroiurilor. Radiaţia a păstrat cu fidelitate patina aglomerărilor primordiale de-a lungul timpului şi demonstrează grafic că universul nu a fost totdeauna structurat în modul caracteristic în care îl vedem azi. Acumularea materiei în galaxii şi stele este un larg proces evolutiv, care a început cu universul într-un stadiu uniform aproape perfect.

Aceasta este o ultimă dovadă care confirmă teoria originii fierbinţi şi dense a cosmosului. Cunoscînd tem-

peratura radiaţiei calorice astăzi, este uşor de calculat faptul că la aproximativ o secundă după început universul ar fi avut o temperatură de circa zece miliarde de grade. Era mult prea fierbinte ca să existe nuclee atomice compuse. La acel moment materia trebuie să fi fost descompusă în cele mai elementare componente ale sale, formînd un amestec de particule elementare cum sînt protonii, neutronii şi electronii. Totuşi, cînd acest amestec s-a răcit, reacţiile nucleare au devenit posibile. Mai ales, neutronii şi protonii erau liberi să se unească în perechi şi aceste perechi să se combine una cu alta formînd nuclee de heliu. Calculele arată că activitatea nucleară a durat aproximativ trei minute (de unde şi titlul cărţii lui Steven Weinberg), timp în care aproximativ un sfert din masa de materie a fost transformată în heliu. Acest proces a utilizat efectiv toţi neutronii disponibili. Protonii rămaşi şi neintraţi în combinaţii erau destinaţi să devină nuclee de hidrogen. Teoria susţine de aceea că universul ar trebui să fie format din circa 75 procente hidrogen şi 25 procente heliu. Cifrele corespund cu măsurătorile actuale, în ce priveşte abundenţa acestor elemente în cosmos.

Reacţiile nucleare primordiale au produs probabil şi foarte mici cantităţi de deuteriu, heliu-3 şi litiu. Totuşi elementele grele, care în totalitate constituie mai puţin de un procent din materia cosmică, nu au fost produse în explozia iniţială. Ele s-au format mult mai tîrziu, în interiorul stelelor, într-un mod pe care am să-l discut în capitolul 4.

Luate împreună, expansiunea universului, radiaţia cosmică de fond şi relativa abundenţă a elementelor chimice reprezintă o dovadă puternică în sprijinul teoriei exploziei iniţiale. Rămîn însă multe întrebări fără răspuns. De ce, de exemplu, se extinde universul exact cu viteza cu care o face — cu alte cuvinte, de

ce a fost explozia inițială atît de mare? De ce erau universul timpuriu atît de uniform și rata expansiunii atît de asemănătoare în toate direcțiile și toate regiunile spațiului? Care este originea micilor fluctuații de densitate descoperite de COBE și care sînt atît de importante pentru formarea galaxiilor și roiurilor galactice?

În ultimii ani s-au făcut enorme eforturi pentru a încerca rezolvarea acestui „puzzle", combinînd teoria exploziei inițiale cu ultimele idei despre fizica particulelor de energie înaltă. Această „nouă cosmologie" — trebuie să subliniez — se bazează pe o fundamentare științifică mai puțin sigură decît ceea ce am discutat pînă acum. În particular, procesele de interes implică energiile particulelor în exces considerabil față de toate cele care au fost observate în mod direct și epoca cosmică în care aceste procese au avut loc este o unică fracțiune de secundă după nașterea cosmică. Condițiile la acea vreme erau atît de extreme, încît singurul ghid disponibil în mod curent este modelarea matematică, bazată aproape în întregime numai pe idei teoretice.

O ipoteză centrală a noii cosmologii este posibilitatea unui proces numit inflație. Ideea de bază este că la un moment anume din timpul primei fracțiuni de secundă, universul a crescut, deodată, imens (inflație), cu un coeficient uriaș. Pentru a vedea ce înseamnă acest lucru, priviți din nou fig. 3.2. Curba se apleacă mereu în jos, indicînd faptul că în timp ce măsura oricărei regiuni din spațiu crește, aceasta are loc la o viteză în scădere. Prin contrast, în timpul inflației expansiunea de fapt *crește*. Situația este descrisă (nu la scară) în fig. 3.3. Inițial expansiunea încetinește, dar o dată cu inflația pornește rapid, iar curba o ia în sus pentru o scurtă perioadă de timp. În final, curba revine la normal, dar, între timp, dimensiunea regiu-

nilor din spaţiu reprezentate grafic a crescut enorm (mult mai mult decît se arată acolo), comparativ cu poziţia echivalentă de pe grafic arătată în fig. 3.2.

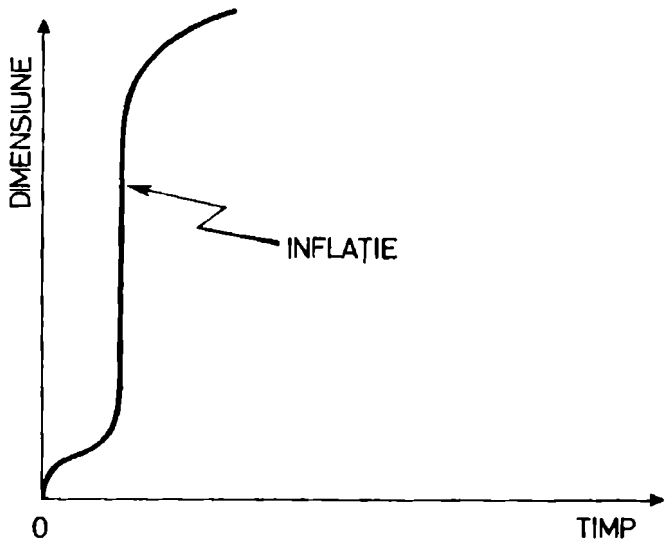


FIGURA 3.3 Scenariul inflaţionist. În acest scenariu, universul este supus unui salt mare şi brusc în dimensiune imediat după naşterea sa dintr-o explozie. Scara verticală este extrem de comprimată. Urmînd după faza inflaţionistă, expansiunea are loc cu o rată în descreştere, aşa cum se arată în fig. 3.2.

De ce să se comporte universul într-un mod atît de ciudat? Să ne amintim că partea coborîtoare a curbei se datorează forţei de gravitaţie care acţionează ca o frînă pentru expansiune. O parte de sus a curbei, tot îndoită, poate fi privită de aceea ca o formă de antigravitaţie, sau forţă de respingere, determinînd o creştere din ce în ce mai rapidă a universului. Deşi antigravitaţia pare o posibilitate ciudată, unele teorii speculative recente sugerează faptul că un astfel de efect s-ar fi putut produce în condiţiile extreme de temperatură şi densitate predominante în universul primar.

Înainte de a discuta cum, daţi-mi voie să vă explic de ce o fază inflaţionistă ne ajută să rezolvăm unele din

întrebările anterioare. În primul rînd, creşterea expansiunii poate arăta foarte convingător de ce explozia iniţială a fost atît de mare. Efectul antigravitaţional este un proces instabil sau trecător, ceea ce înseamnă că mărimea universului creşte exponenţial. Din punct de vedere matematic, aceasta înseamnă că o regiune dată a spaţiului se dublează după o anumită perioadă de timp. Să numim această perioadă o „clipă". După două astfel de clipe, mărimea a crescut de patru ori, după trei clipe de opt ori, după zece clipe regiunea s-a mărit de peste o mie de ori. Calculul arată că rata expansiunii la sfîrşitul erei inflaţioniste este în concordanţă cu cea observată azi. (În capitolul 6 am să explic mai clar ce înţeleg prin aceasta.)

Uriaşa creştere de mărime provocată de inflaţie ne furnizează şi o explicaţie pentru uniformitatea cosmică. Orice neregularităţi iniţiale ar fi netezite de dilatarea spaţiului, asemănător cu modul de dispariţie a pliurilor dintr-un balon cînd el este umflat. Astfel, orice variaţii timpurii în rata inflaţiei în diferite direcţii vor fi curînd preluate de inflaţie, care operează cu aceeaşi putere în toate direcţiile. În final, micile neregularităţi relevate de COBE ar putea fi atribuite faptului că inflaţia nu s-ar fi terminat peste tot la acelaşi moment (pentru motive ce vor fi discutate pe scurt), astfel unele regiuni s-ar fi dilatat puţin mai mult decît altele, producînd uşoare variaţii de densitate.

Să traducem totul în numere. În cea mai simplă versiune a teoriei inflaţioniste, forţa inflaţionistă (antigravitaţie) se dovedeşte a fi extraordinar de puternică, determinînd universul să-şi dubleze mărimea cam la fiecare a suta bilionime de bilionime de bilionime (10^{-34}) de secundă. Această durată infinitezimală de timp am numit-o noi o clipă. După doar o sută de „clipe", o regiune de mărimea unui nucleu atomic ar fi

ajuns la mărimea de aproximativ un an lumină. Aceasta este mai mult decît suficient pentru a rezolva chestiunile ridicate anterior.

Mai multe mecanisme posibile, care ar putea să fi dus la această comportare inflaţionistă, au fost descoperite cu ajutorul teoriilor fizicii particulelor subatomice. Toate aceste mecanisme folosesc un concept numit vid cuantic. Pentru a înţelege despre ce este vorba, trebuie mai întîi să ştim cîte ceva despre fizica cuantică. Teoria cuantelor a început cu descoperirea privind natura radiaţiei electromagnetice, cum ar fi căldura şi lumina. Deşi această radiaţie se propagă prin spaţiu sub formă de unde, totuşi ea se poate comporta uneori ca şi cînd ar fi alcătuită din particule. În particular, emisia şi absorbţia de lumină au loc sub forma unor mici pachete (sau cuante) de energie, care se numesc fotoni. Acest amalgam ciudat de aspecte de undă şi particulă, numit uneori dualitatea undă/particulă, s-a dovedit a se putea aplica tuturor entităţilor fizice la scară atomică şi subatomică. Astfel, entităţile considerate de obicei a fi particule, cum ar fi electronii, protonii, neutronii şi chiar atomii întregi, au în anumite condiţii aspecte de undă.

O teză centrală a teoriei cuantelor este principiul incertitudinii (nedeterminării) al lui Werner Heisenberg, conform căruia obiectele cuantice nu au valori bine definite pentru toate caracteristicile lor. De exemplu, un electron nu poate avea, în acelaşi timp, şi o poziţie definită şi un moment definit. De asemenea, nu poate avea o valoare definită a energiei la un moment definit de timp. Incertitudinea în valoarea energiei ne interesează acum. Pe cîtă vreme, în lumea macroscopică a tehnicii, energia se conservă întotdeauna (ea nu poate fi nici creată, nici distrusă), în domeniul lumii subatomice a cuantelor această lege poate fi suspendată. Energia se poate schimba, în mod spontan şi impre-

vizibil, de la un moment la altul. Cu cît intervalul considerat este mai mic, cu atît mai mari vor fi aceste fluctuaţii cuantice întîmplătoare. Într-adevăr, particula poate împrumuta energie de nicăieri, ca să zicem aşa, atît timp cît împrumutul este înapoiat cu promptitudine. Forma matematică precisă a principiului incertitudinii al lui Heisenberg cere ca un împrumut mare de energie să fie restituit imediat, în timp ce restituirea unuia mai mic poate dura mai mult.

Incertitudinea energiei conduce la efecte ciudate. Printre acestea este şi posibilitatea ca o astfel de particulă, un foton de exemplu, să apară la un moment dat din nimic, doar pentru a dispărea puţin mai tîrziu. Aceste particule trăiesc din energia împrumutată, aşadar cu timp împrumutat. Noi nu le vedem pentru că apariţia lor este efemeră, dar ceea ce noi numim un spaţiu gol este în realitate plin de o mulţime de astfel de particule cu existenţă efemeră, nu numai fotoni, dar şi electroni, protoni şi altele. Pentru a distinge aceste particule temporare de cele permanente, mai familiare, primele sînt numite „virtuale", în timp ce ultimele se numesc „reale".

În afară de natura lor temporară, particulele virtuale sînt la fel cu cele reale. De fapt, dacă destulă energie este suplinită într-un fel sau altul din afara sistemului, astfel încît să se poată achita împrumutul de energie din principiul lui Heisenberg, atunci se poate ca o particulă virtuală să devină una reală şi dacă se întîmplă astfel ea nu poate fi distinsă de orice altă particulă reală de acelaşi fel. Un electron virtual, de exemplu, supravieţuieşte tipic numai aproximativ 10^{-21} secunde. În timpul scurtei sale vieţi, el nu se odihneşte, ci poate călători pe o distanţă de 10^{-11} cm (pentru comparaţie raza atomului este de circa 10^{-8} cm) înainte să dispară. Dacă electronul virtual primeşte energie în acest scurt

interval (să spunem de la un cîmp electromagnetic), el nu mai are nevoie să dispară, ci îşi poate continua existenţa ca un electron perfect normal.

Deşi nu le putem vedea, ştim că aceste particule virtuale sînt „într-adevăr acolo" în spaţiul gol, pentru că lasă o urmă detectabilă a activităţii lor. Un efect al fotonilor virtuali, de exemplu, este de a produce o schimbare uşoară a nivelurilor de energie ale atomilor. Ei cauzează, de asemenea, o foarte mică schimbare în momentul magnetic al electronilor. Aceste variaţii foarte mici, dar semnificative, au fost măsurate cu acurateţe folosind tehnici spectroscopice.

Imaginea simplă a vidului cuantic, zugrăvită mai sus, se modifică dacă luăm în considerare faptul că particulele subatomice nu se mişcă liber în general, ci sînt supuse la o multitudine de forţe, tipul forţei depinzînd de tipul de particule considerat. Aceste forţe acţionează şi între particulele virtuale. Rezultă deci că există mai mult decît un singur tip de stare de vid. Existenţa mai multor posibile „stări cuantice" este o trăsătură caracteristică a fizicii cuantice. Cel mai bine cunoscute sînt diferitele niveluri de energie ale atomilor. Aici, un electron care orbitează în jurul nucleului atomic poate exista în anumite stări bine definite cu energii definite. Cel mai de jos nivel se numeşte stare de bază şi este stabil. Niveluri mai înalte sînt stări excitate şi sînt instabile. Dacă un electron este aruncat într-o stare superioară, el va face una sau mai multe tranziţii în jos, înapoi la starea de bază. Starea de excitaţie are o jumătate de viaţă bine definită pentru a „se dezintegra".

Principii asemănătoare se aplică vidului, care poate avea una sau mai multe stări de excitaţie. Aceste stări ar avea energii foarte diferite, deşi ar trebui să arate la fel, adică goale. Cea mai mică energie, sau nivelul de bază, se cheamă uneori vid „adevărat", reflectînd faptul

că e starea stabilă şi probabil cea care corespunde regiunilor goale ale universului aşa cum se observă astăzi. Un vid cu stare de excitaţie se numeşte un vid „fals".

Ar trebui subliniat că vidul fals rămîne o idee pur teoretică, iar proprietăţile sale depind foarte mult de teoria invocată. Ele apar în mod natural, în toate teoriile recente care aspiră să unifice patru forţe fundamentale ale naturii: gravitaţia şi electromagnetismul, familiare din viaţa de zi cu zi, şi două forţe nucleare de domeniu îngust numite forţa slabă şi forţa tare. Lista era mai lungă: electricitatea şi magnetismul erau o dată privite ca distincte.

Procesul de unificare a început în perioada timpurie a secolului al XIX-lea şi a avansat mult în ultimele decenii. Este acum cunoscut că forţele electromagnetice şi forţele nucleare slabe sînt legate şi formează o singură forţă „electroslabă". Mulţi fizicieni cred că forţa puternică se va dovedi a fi legată de cea electroslabă, o asociaţie descrisă într-o formă sau alta de aşa-numitele mari teorii unificate. S-ar putea întîmpla foarte bine ca toate cele patru forţe să se unească într-o singură superforţă la un nivel destul de adînc.

Cel mai promiţător candidat pentru un mecanism inflaţionist este prezis de diferitele mari teorii unificate. O trăsătură cheie a acestor teorii este că energia vidului fals este uluitoare: un centimetru cub de spaţiu ar conţine 10^{87} jouli! Chiar un volum atomic într-o astfel de stare ar conţine 10^{62} jouli. Comparaţi aceasta cu bieţii 10^{-18} jouli sau cam aşa ceva pe care-i posedă un atom excitat. Deci ar trebui multă energie pentru a excita vidul adevărat şi nu ne-am aştepta să întîlnim un vid fals în universul de azi. Pe de altă parte, dat fiind condiţiile extreme ale exploziei iniţiale, aceste cifre sînt plauzibile.

Imensa energie asociată stării de vid fals are un puternic efect gravitaţional. Aşa cum arată Einstein, acest

lucru se datorează faptului că energia are masă şi de aceea exercită atracţie gravitaţională exact ca orice materie normală. Enorma energie a vidului cuantic are o mare forţă de atracţie: energia unui centimetru cub de vid fals ar cîntări 10^{64} tone, ceea ce este mai mult decît întregul univers observabil astăzi (circa 10^{50} tone)! Această colosală gravitaţie nu ajută în producerea inflaţiei, un proces care cere un anume fel de *anti*-gravitaţie. Totuşi, imensa energie a vidului fals este asociată cu o la fel de imensă *presiune* şi tocmai de această presiune era nevoie. În mod normal nu ne gîndim la presiune ca o sursă de gravitaţie, dar ea este o astfel de sursă. Deşi presiunea exercită o forţă mecanică exterioară, ea induce o creştere a forţei gravitaţionale interioare. În cazul corpurilor obişnuite, efectul gravitaţional al presiunii este neglijabil în comparaţie cu cel al masei corpului lor. De exemplu, mai puţin de a miliarda parte din greutatea corpului nostru pe Pămînt se datorează presiunii interne a Pămîntului. Totuşi efectul presiunii este real şi într-un sistem unde presiunea atinge valori extreme, efectul gravitaţional al presiunii poate rivaliza cu cel al masei.

În cazul vidului fals, există *atît* o uriaşă energie *cît şi* o la fel de uriaşă presiune care se iau la întrecere pentru dominaţia gravitaţională. Proprietatea crucială este totuşi faptul că presiunea este *negativă* . Vidul fals nu împinge: el atrage. O presiune negativă produce un efect gravitaţional negativ, ceea ce înseamnă că *antigravitează.* Astfel, acţiunea gravitaţională a vidului fals implică o competiţie între uriaşul efect de atracţie al energiei sale şi uriaşul efect de respingere datorat presiunii sale negative. Se dovedeşte că presiunea învinge şi ca efect se creează o forţă de respingere atît de mare, încît poate spulbera universul într-o fracţiune de secundă. Acest impuls inflaţionist a deter-

minat universul să-şi dubleze mărimea la fiecare 10^{-34} secunde.

Vidul fals este în mod intrinsec instabil. Ca orice stare cuantică excitată, el doreşte să se dezintegreze către starea de bază — adevăratul vid. Şi probabil că o face după cîteva duzini de trucuri. Fiind un proces cuantic, el este supus nedeterminismului inevitabil şi fluctuaţiilor întîmplătoare discutate înainte în legătură cu principiul incertitudinii (nedeterminării) al lui Heisenberg. Asta înseamnă că dezintegrarea nu se va produce în mod uniform în întregul spaţiu: vor fi fluctuaţii. Unii teoreticieni sugerează că aceste fluctuaţii pot fi sursa fluctuaţiilor lui COBE.

Cînd vidul fals s-a dezintegrat, universul îşi reia expansiunea normală în scădere. Energia care a fost înmagazinată în vidul fals este eliberată, apărînd sub formă de căldură. Uriaşa dilatare produsă de inflaţie răcise universul la o temperatură foarte apropiată de zero absolut; brusc încheierea inflaţiei îl încălzeşte din nou pînă la uriaşa valoare de 10^{28} grade. Acest vast rezervor de căldură dăinuie şi astăzi sub formă foarte diminuată, ca radiaţie cosmică termică de fond. Un produs auxiliar al acestei eliberări de energie este faptul că multe particule virtuale din vidul cuantic primesc o parte din ea şi devin particule reale. După alte procese şi schimbări, ceea ce a rămas din aceste particule primare formează 10^{50} tone de materie ce ne alcătuiesc pe tine, pe mine, galaxia şi restul universului observabil.

Dacă scenariul inflaţionist este pe drumul cel bun — şi mulţi specialişti de frunte în cosmologie cred că da — atunci structura de bază şi conţinutul fizic al universului erau determinate prin procesele ce erau complete după scurgerea a numai a 10^{-32}-a parte dintr-o secundă. Universul postinflaţionist a mai suferit multe

modificări ulterioare la nivelul subatomic cînd materialul primar s-a transformat în particule şi atomi care alcătuiesc materialul cosmic din epoca noastră, dar cea mai mare parte a procesului de formare a materiei a fost terminată cam în primele trei minute.

Cum se leagă primele trei minute de ultimele? Aşa cum soarta unui glonţ tras către o ţintă depinde de direcţia armei, tot astfel soarta universului depinde de condiţiile sale iniţiale. Vom vedea cum felul în care universul a evoluat de la origine, precum şi natura materialului rezultat din explozia iniţială ne folosesc pentru a-i determina viitorul. Începutul şi sfîrşitul universului sînt adînc legate între ele.

CAPITOLUL 4

Destinul stelelor

În noaptea de 23–24 februarie 1987 un astronom canadian numit Ian Shelton lucra la observatorul din Las Campas de pe înălţimile Anzilor Chilieni. Un asistent chilian în tura de noapte s-a strecurat uşor afară, privind la cerul întunecat al nopţii. Fiind familiarizat cu acest peisaj, el a remarcat repede ceva neobişnuit. La marginea fîşiei nebuloase de lumină care este galaxia Norul Mare al lui Magellan (NMM) se găsea o stea. Nu era foarte strălucitoare — cam de aceeaşi magnitudine cu cele din Brîul lui Orion. Ceea ce era semnificativ pentru ea era faptul că nu fusese acolo cu o zi înainte.

Asistentul i-a atras atenţia lui Ian Shelton asupra obiectului şi în interval de cîteva ore, vestea s-a răspîndit în toată lumea. Shelton şi asistentul său chilian descoperiseră o supernovă. Era primul astfel de obiect vizibil cu ochiul liber după cel din 1604 înregistrat de Johannes Kepler. Astronomii din mai multe ţări şi-au îndreptat imediat telescoapele către Norul Mare al lui Magellan. În lunile următoare comportarea supernovei 1987 A a fost studiată în cele mai mici detalii.

Cu cîteva ore înainte ca Shelton să facă senzaţionala sa descoperire, un alt eveniment neobişnuit a fost înregistrat într-un loc foarte diferit — într-o mină de zinc

din Kamioka, adînc în interiorul Pămîntului japonez. Acesta a fost locul unui experiment de lungă durată condus de fizicieni, avînd un scop ambiţios. Ţelul lor a fost să testeze stabilitatea finală a unuia din componenţii de bază ai materiei — protonii. Marile teorii unificate dezvoltate în anii '70 preconizează că protonii ar putea fi *foarte* uşor instabili, dezintegrîndu-se uneori într-o variantă specială de radioactivitate. Dacă acest lucru este aşa, el va avea profunde implicaţii asupra sorţii universului, aşa cum vom vedea într-un capitol ulterior.

Pentru a testa dezintegrarea protonului, experimentatorii japonezi umpluseră un rezervor cu 2 000 tone de apă ultrapură şi aşezaseră detectoare de fotoni foarte sensibile în jurul lui. Sarcina acestor detectoare consta în a înregistra fasciculele de lumină ascunse ce puteau fi atribuite produselor cu viteză înaltă ale evenimentelor individuale de descompunere. Experimentul trebuia să se producă într-un loc subteran pentru a reduce efectul radiaţiei cosmice care altfel ar fi inundat detectoarele cu date false.

Pe 22 februarie detectoarele din Kamioka au fost declanşate de nu mai puţin de unsprezece ori în tot atîtea secunde. În acelaşi timp, pe cealaltă parte a planetei, într-o mină de sare din Ohio, un detector similar înregistra opt astfel de evenimente. Cum sinuciderea simultană în masă a cîte nouăsprezece protoni era de neconceput, evenimentele trebuiau să aibă o altă explicaţie. Fizicienii au găsit-o curînd. Aparatura lor trebuia să fi înregistrat distrugerea protonilor printr-un alt proces, mai convenţional: coliziunea cu neutrinii.

Neutrinii sînt particule subatomice care vor juca un rol important în povestea mea, de aceea merită să facem o pauză pentru a-i examina mai în detaliu. Existenţa lor a fost afirmată pentru prima oară în 1931 de Wolf-

gang Pauli, un specialist în fizică teoretică (născut în Austria), pentru a explica un aspect problematic al proceselor radioactive cunoscute sub numele de dezintegrare beta. Într-un proces tipic de dezintegrare beta, un neutron se dezintegrează într-un proton şi un electron. Electronul, o particulă relativ uşoară, îşi ia zborul cu o energie considerabilă. Problema este că la fiecare dezintegrare electronul pare a avea o energie diferită, întrucîtva mai mică decît energia totală disponibilă din dezintegrarea neutronului. Deoarece energia totală este aceeaşi în toate cazurile, se pare că energia finală diferă faţă de cea iniţială. Acest lucru nu se poate întîmpla, deoarece există o lege de bază a fizicii ce spune că energia se conservă, de aceea Pauli a sugerat că energia ce lipseşte a fost luată de o particulă invizibilă. Încercările de pînă acum de a detecta aceste particule au eşuat, astfel încît a devenit clar că dacă ele există, atunci ar trebui să aibă o incredibilă putere de penetrare. Cum orice fel de particulă cu sarcină electrică ar fi prompt prinsă de materie, particula lui Pauli trebuia să fie neutră din punct de vedere electric — de acolo numele de „neutrino".

Deşi pînă la ora actuală nimeni nu a detectat un neutrino, fizicienii au fost capabili să-şi imagineze cîteva din proprietăţile lui. Una din aceste proprietăţi priveşte masa neutrino-ului.

Conceptul de masă este subtil atunci cînd e vorba despre particule ce se mişcă foarte rapid. Aceasta pentru că masa unui corp nu este o cantitate fixă, ci depinde de viteza lui. De exemplu: o minge din plumb de 1 kg va cîntări 2 kg dacă se deplasează cu 260000 km pe secundă. Factorul-cheie este aici viteza luminii. Cu cît un obiect are viteza mai apropiată de viteza luminii, cu atît el devine mai masiv, iar această creştere de masă este fără limite. Deoarece masa variază astfel, atunci

cînd fizicienii vorbesc de masa unei particule subatomice, ei se referă la masa de repaus, pentru a evita confuzia. Dacă particula se deplasează cu o viteză apropiată de cea a luminii, masa sa reală poate fi egală cu de mai multe ori masa sa de repaus: în interiorul acceleratoarelor mari de particule, electronii şi protonii pot avea masa de mii de ori mai mare decît cea de repaus. Un indiciu pentru valoarea masei de repaus a unui neutrino ne este dat de faptul că descompunerea beta va elibera uneori un electron împreună cu aproape întreaga energie disponibilă, nelăsînd mai nimic pentru neutrino. Aceasta înseamnă că neutrinii pot exista cu energie zero. Ţinînd cont de faimoasa formulă a lui Eistein $E = mc^2$, energia E şi masa m sînt echivalente, deci energie zero implică masă zero. Aceasta înseamnă că neutrino-ul pare să aibă o foarte mică masă de repaus, posibil zero. Dacă masa de repaus este într-adevăr zero, atunci neutrino-ul va călători cu viteza luminii. În orice caz, este foarte posibil să se constate că el călătoreşte cu o viteză foarte apropiată de cea a luminii.

O altă proprietate priveşte modul în care particulele subatomice se rotesc. Neutronii, protonii şi electronii sînt mereu găsiţi rotindu-se (mişcare de spin). Magnitudinea acestei rotaţii este o anumită cantitate fixă şi de fapt aceeaşi pentru toţi trei. Spinul este o formă de moment unghiular şi există o lege a conservării momentului unghiular — o lege la fel de importantă ca şi legea conservării energiei. Cînd un neutron se dezintegrează, spinul său trebuie să se conserve în produsele rezultate. Dacă electronul şi protonul s-ar roti în aceeaşi direcţie, vitezele lor de spin s-ar aduna pentru a face dublul vitezei neutronului. Pe de altă parte, dacă s-ar mişca în sens contrar, spinii s-ar neutraliza pentru a da un total zero. Oricum ar fi, spinul total al unui electron şi unui proton singur nu ar putea fi egal cu

cel al neutronului. Totuşi, dacă luăm în considerare existenţa neutrino-ului, lucrurile se pot echilibra socotind că neutrino-ul posedă acelaşi spin cu celelalte particule. Atunci două din cele trei produse provenite din descompunere pot să se rotească în aceeaşi direcţie, în timp ce al treilea se roteşte în sens contrar.

Astfel chiar fără a fi detectat vreodată un neutrino, fizicienii au fost capabili să deducă faptul că el trebuie să fie o particulă cu sarcină electrică zero, spin identic cu al electronului, masă de repaus mică sau nulă şi o interacţiune atît de slabă cu materia obişnuită, încît nu lasă aproape nici o urmă a trecerii sale. Pe scurt, este un fel de fantomă rotitoare. Nu este surprinzător deci că au mai trecut aproape douăzeci de ani de cînd Pauli a presupus existenţa neutrinilor şi pînă cînd ei au fost definitiv identificaţi în laborator. Ei sînt creaţi în cantităţi atît de mari în reactoarele nucleare încît, în ciuda proprietăţii lor de a fi insesizabili, este posibil să se detecteze ocazional cîte un reprezentant.

Sosirea unei explozii de neutrini în mina din Kamioka o dată cu apariţia supernovei 1987 A nu putea fi o simplă coincidenţă şi a fost interpretată de savanţi ca o confirmare crucială a teoriei supernovei: ceea ce aşteptau astronomii de mult de la o supernovă era exact o explozie de neutrini.

Deşi cuvîntul „nova" înseamnă „nou" în limba latină, supernova 1987 A nu reprezintă naşterea unei stele noi. De fapt este moartea uneia bătrîne într-o explozie spectaculoasă. Marele Nor al lui Magellan, în care supernova a apărut, este o minigalaxie aflată la o depărtare de 170000 de ani lumină. Este destul de apropiată de Calea Lactee pentru a fi un fel de satelit al galaxiei noastre. Ea este vizibilă cu ochiul liber şi apare ca o fîşie de lumină difuză în emisfera sudică, dar este nevoie de mari telescoape pentru a-i descoperi

stelele individuale. La numai cîteva ore de la descoperirea lui Shelton, astronomii australieni au putut identifica printre cele cîteva miliarde de stele conţinute de Marele Nor al lui Maggelan pe cea care a explodat: ei au făcut acest lucru studiind fotografiile anterioare ale acestei regiuni a cerului. Steaua respectivă era o supergigantă albastră de tipul B3, cu diametrul de aproape 40 de ori mai mare decît al soarelui. Avea chiar un nume: Sanduleak — 69 202.

Teoria că stelele pot exploda a fost cercetată mai întîi de astrofizicienii Fred Hoyle, William Fowler şi Geoffrey şi Margaret Burbidge pe la mijlocul anilor '50. Pentru a înţelege cum o stea ajunge la un asemenea cataclism, este necesar să ştim cîte ceva despre ceea ce se întîmplă în interiorul ei. Cea mai familiară stea este soarele. Ca şi cele mai multe dintre stele, soarele nu pare a se modifica; totuşi aceasta contrazice faptul că el se află într-o luptă fără sfîrşit cu forţele de distrugere. Toate stelele sînt sfere de gaz menţinute în echilibru datorită gravitaţiei. Dacă gravitaţia ar fi singura forţă care ar lucra, ele ar suferi o implozie instantanee sub propria lor greutate imensă şi ar dispărea în cîteva ore. Motivul pentru care nu se întîmplă astfel este că forţa internă de gravitaţie este contracarată de forţa externă a presiunii gazului comprimat în interiorul stelei.

Există o relaţie simplă între presiunea gazului şi temperatura sa. Cînd un gaz de volum fix este încălzit, presiunea creşte în mod normal direct proporţional cu temperatura. Din contră, cînd temperatura scade, scade şi presiunea. În interiorul unei stele presiunea este enormă datorită căldurii — multe milioane de grade. Căldura este produsă de reacţiile nucleare. Pentru cea mai mare parte a vieţii ei, principala reacţie ce furnizează puterea stelei este conversia hidrogenului în heliu prin fuziune. Reacţia aceasta necesită o temperatură foarte

înaltă pentru a depăşi respingerea electrică ce acţionează între nuclee. Energia de fuziune poate susţine o stea miliarde de ani, dar, mai devreme sau mai tîrziu, combustibilul se epuizează, iar reactorul începe să se poticnească. Cînd acest lucru se întîmplă, suportul de presiune este ameninţat şi steaua începe să piardă bătălia cu gravitaţia. O stea trăieşte eminamente pe timp împrumutat, prevenind colapsul gravitaţional prin ordonarea rezervelor sale de combustibil. Dar fiecare kilowatt care îşi ia zborul de pe suprafaţa stelei către adîncimile spaţiului ajută la grăbirea sfîrşitului.

Este calculat că soarele poate să ardă aproximativ zece miliarde de ani datorită hidrogenului cu care a pornit. Astăzi, la vîrsta de aproape cinci miliarde de ani, steaua noastră locală şi-a ars cam jumătate din rezervă. Totuşi nu este încă necesar să intrăm în panică. Viteza cu care o stea îşi consumă combustibilul nuclear depinde în mod sensibil de masă. Stelele mai grele ard combustibilul mult mai repede — trebuie s-o facă deoarece sînt mai mari şi mai luminoase şi radiază astfel mai multă energie. Greutatea suplimentară comprimă gazul la o densitate şi temperatură mai înaltă, făcînd să crească viteza reacţiei de fuziune. O stea avînd, de exemplu, zece mase solare va arde majoritatea hidrogenului în doar zece milioane de ani.

Să urmărim deci soarta unei astfel de stele masive. Majoritatea stelelor sînt la început compuse în principal din hidrogen. „Arderea" hidrogenului constă în fuziunea nucleelor de hidrogen — nucleul de hidrogen este compus dintr-un singur proton — pentru a forma nuclee de heliu, fiecare constînd din doi protoni şi doi neutroni. (Detaliile sînt complicate şi nu ne sînt necesare aici.) „Arderea" hidrogenului este cea mai eficientă sursă de energie nucleară, dar nu singura. Dacă temperatura miezului este suficient de ridicată, nucleele de

heliu pot fuziona pentru a forma carbonul, şi alte reacţii de fuziune conduc la oxigen, neon şi alte elemente. O stea masivă poate genera temperaturile interne necesare — peste un miliard de grade — pentru ca acest lanţ succesiv de reacţii nucleare să continue, dar energia returnată scade continuu. Cu fiecare nou element fabricat, energia eliberată se micşorează. Combustibilul este ars din ce în ce mai repede, pînă cînd compoziţia stelei se modifică în fiecare lună, apoi în fiecare zi, apoi la fiecare oră. Interiorul său seamănă cu o ceapă, ale cărei straturi sînt elementele chimice succesive, sintetizate din ce în ce mai repede. În exterior, steaua se umflă la o dimensiune enormă, mai mare decît întregul nostru sistem solar, devenind ceea ce astronomii numesc o supergigantă roşie.

Încheierea lanţului arderii nucleare este marcată de elementul fier care are o structură a nucleului foarte stabilă. Sinteza elementelor mai grele decît fierul prin fuziune nucleară mai mult consumă decît eliberează energie, deci atunci cînd o stea a sintetizat un sîmbure de fier, ea este sortită pieirii. O dată ce regiunile centrale ale stelei nu mai pot produce energie calorică, sorţii înclină fatal în favoarea forţei de gravitaţie. Steaua se balansează, aflată pe marginea unei catastrofale instabilităţi, rostogolindu-se pînă la urmă în propria sa capcană gravitaţională.

Ceea ce se întîmplă, şi se întîmplă repede, este aceasta: sîmburele de fier al stelei, incapabil de aici înainte să producă energie prin ardere nucleară, nu-şi mai poate susţine propria greutate şi se contractă atît de puternic sub influenţa gravitaţiei, încît înşişi atomii sînt striviţi. În cele din urmă, sîmburele ajunge la densităţi nucleare la care un degetar va adăposti aproximativ un bilion de tone de materie. În acest stadiu, sîmburele stelei lovite va fi tipic de 200 km în diametru, iar soliditatea mate-

rialului nuclear îl va determina să facă un salt. Atît de puternică este atracţia gravitaţională încît acest titanic salt nu durează decît cîteva milisecunde. În timp ce drama se desfăşoară în centrul stelei, straturile de material stelar ce o înconjoară se prăbuşesc înspre nucleu într-o convulsie rapidă. Călătorind către interior cu zeci sau sute de kilometri pe secundă, bilioane după bilioane de tone de material de implozie întîlnesc nucleul foarte compact, mai puternic decît un zid de diamant. Ceea ce urmează este o coliziune de o violenţă ameţitoare, care eliberează din interiorul stelei o imensă undă de şoc.

O dată cu unda de şoc apare o emisie masivă de neutrini, eliberaţi deodată din străfundurile regiunilor interioare ale stelei în timpul ultimei transmutaţii nucleare, o transmutaţie în care electronii şi protonii atomilor stelei sînt striviţi împreună pentru a forma neutroni. Miezul stelei devine efectiv o bilă imensă de neutroni. Undele de şoc şi neutrinii transportă laolaltă către exterior, prin straturile superficiale ale stelei, şi o mare cantitate de energie. Absorbind mult din această energie, straturile dinspre exteriorul stelei explodează într-un holocaust nuclear de o putere inimaginabilă. Timp de cîteva zile steaua străluceşte cu intensitatea a zece miliarde de sori, pentru a se stinge apoi din nou cîteva săptămîni mai tîrziu.

Supernovele apar aproximativ de două sau de trei ori pe secol, într-o galaxie tipică, aşa cum este Calea Lactee, şi ele au fost înregistrate în istorie de către astronomii uimiţi. Una din cele mai faimoase a fost remarcată de observatorii chinezi şi arabi în 1054 în constelaţia Cancerului (Racului). Astăzi, steaua sfărîmată apare ca un nor neregulat de gaze ce se extind, cunoscută sub numele de Nebuloasa Racului.

Explozia supernovei 1987 A a iluminat universul cu o săgeată vizibilă de neutrini. A fost o vibraţie cu o inten-

sitate uimitoare. Fiecare centimetru pătrat de Pămînt — deşi aflat la o distanţă de 170 000 ani lumină faţă de explozie — a fost străpuns de o sută de miliarde de neutrini, însă locuitorii săi, din fericire, nu au fost conştienţi că au fost străpunşi, pentru o clipă, de multe bilioane de particule dintr-o altă galaxie. Dar detectoarele de protoni dezintegraţi din Kamioka şi Ohio au oprit nouăsprezece dintre ei. Fără această aparatură neutrinii ar fi trecut neobservaţi, aşa cum s-a întîmplat în 1054.

Deşi o supernovă înseamnă moartea stelei implicate, explozia are şi un aspect creator. Enorma eliberare de energie înfierbîntă atît de puternic straturile superficiale ale stelei, încît pentru o scurtă perioadă de timp sînt posibile noi reacţii de fuziune nucleară — acestea mai mult consumă decît eliberează energie. Elemente grele, în afară de fier — cum ar fi aurul, plumbul şi uraniul — sînt fabricate în acest ultim şi intens cuptor stelar. Aceste elemente, împreună cu cele mai uşoare cum ar fi carbonul şi oxigenul, care au fost create în primele stadii ale nucleosintezei, sînt împrăştiate în spaţiu, pentru a se amesteca acolo cu deşeurile altor nenumărate supernove. De-a lungul epocilor următoare, aceste elemente grele sînt înglobate în generaţii noi de stele şi planete. Fără fabricarea şi împrăştierea acestor elemente, nu ar putea exista planete ca Pămîntul. Carbonul şi oxigenul, dătătoare de viaţă, aurul din băncile noastre, plumbul din tablele de pe acoperiş şi barele de uraniu din reactoarele nucleare — toate îşi datorează prezenţa terestră convulsiilor mortale ale stelelor care au dispărut cu mult înainte ca soarele nostru să existe. Este un gînd uimitor că însuşi „materialul" trupului nostru este alcătuit din cenuşa nucleară a stelelor moarte demult.

O explozie de supernovă nu distruge complet steaua. Deşi majoritatea materialului este dispersată de cata-

clism, miezul de implozie care a declanşat evenimentul rămîne la locul lui. Soarta sa totuşi este incertă. Dacă masa miezului este suficient de mică — să spunem cît masa solară — atunci el va forma o sferă de neutroni de mărimea unui mic oraş. Cel mai probabil este că această „stea neutronică" se va roti frenetic, poate cu peste o mie de revoluţii pe secundă sau zece procente din viteza luminii la suprafaţă. Ea capătă această rotaţie nebunească datorită imploziei care amplifică enorm relativ uşoara rotaţie a stelei originare; acesta este acelaşi principiu care face ca patinatorii să se rotească mai repede cu mîinile pe lîngă corp. Astronomii au detectat multe astfel de stele neutronice în rotaţie rapidă. Dar viteza de rotaţie scade treptat pe măsură ce obiectul îşi pierde energia. Steaua neutronică din mijlocul Nebuloasei Racului, de exemplu, a încetinit acum la 33 revoluţii pe secundă.

Dacă masa miezului este ceva mai mare — să zicem, mai multe mase solare — el nu se poate transforma într-o stea neutronică. Forţa gravitaţiei este atît de puternică încît chiar materia neutronică — cea mai rigidă substanţă cunoscută — nu poate să mai reziste altei compresii. Acest stadiu evoluează într-un eveniment mai impresionant şi mai catastrofal decît supernova. Sîmburele stelei continuă să colapseze şi în mai puţin de o milisecundă el creează o gaură neagră şi dispare în ea.

Soarta unei stele masive este deci să explodeze în fărîme, lăsînd în urmă fie o stea neutronică, fie o gaură neagră înconjurată de gaze emise difuz. Nimeni nu ştie cîte stele au murit deja în felul acesta, dar numai Calea Lactee ar putea conţine miliarde de astfel de leşuri stelare.

Copil fiind, aveam o teamă morbidă că soarele ar putea să explodeze. Nu este totuşi nici un pericol ca el să devină o supernovă. Este prea mic. Soarta stelelor mai

mici este oricum mai puţin violentă decît a verişoarelor lor mai masive. Mai întîi, procesele nucleare care devorează combustibilul au loc ceva mai încet; într-adevăr, o stea pitică aflată la capătul de jos în rîndul maselor stelare poate străluci liniştită un bilion de ani. În al doilea rînd, o stea uşoară nu poate genera temperaturi interne suficient de mari pentru a sintetiza fierul şi, în consecinţă, pentru a dezlănţui o implozie catastrofală.

Soarele este o stea tipică de masă mică, arzîndu-şi liniştită combustibilul de hidrogen şi transformîndu-şi interiorul în heliu. Heliul se află de cele mai multe ori într-un nucleu central care este inert în ce priveşte reacţiile nucleare; fuziunea are loc la suprafaţa nucleului. De aceea, acesta este incapabil să contribuie la generarea căldurii imense necesare pentru ca soarele să facă faţă strivitoarelor forţe gravitaţionale. Pentru a preveni colapsul, soarele trebuie să-şi extindă activitatea nucleară în exterior, în căutarea hidrogenului proaspăt. Între timp miezul de heliu se contractă treptat. O dată cu trecerea epocilor, aspectul soarelui se va modifica imperceptibil ca rezultat al acestor schimbări interne. El se va mări, dar suprafaţa sa se va răci întrucîtva, căpătînd o culoare roşiatică. Această orientare va continua pînă cînd soarele se va transforma într-o stea gigantică roşie, poate de 500 ori mai mare decît este acum. Gigantele roşii sînt familiare astronomilor şi în această categorie intră mai multe stele bine cunoscute ce strălucesc pe cerul nopţii, ca Aldebaran, Betelgeuse şi Arcturus. Faza de gigantă roşie marchează începutul sfîrşitului pentru o stea de masă mică.

Deşi o gigantă roşie este relativ rece, dimensiunea sa mare îi dă o imensă suprafaţă de radiaţie, ceea ce înseamnă o mai mare luminozitate. Planetele soarelui

vor avea de înfruntat o perioadă grea, peste vreo patru miliarde de ani, cînd fluxul de căldură în creştere le va asalta. Pămîntul va deveni de nelocuit mult înainte de aceasta, oceanele vor dispărea prin fierbere şi atmosfera va fi îndepărtată. Cum soarele va creşte din ce în ce mai mult, el îl va îngloba cu învelişul său de flăcări mai întîi pe Mercur, apoi pe Venus şi în final Terra. Planeta noastră va fi redusă la cenuşă, agăţîndu-se cu încăpăţînare de orbita sa chiar după incinerare; densitatea gazelor roşii şi fierbinţi ale soarelui va fi atît de mică încît condiţiile se vor apropia de cele de vid, exercitînd doar puţină influenţă de frînare asupra mişcării Pămîntului.

Însăşi existenţa noastră în univers este o consecinţă a extraordinarei stabilităţi a stelelor asemănătoare cu soarele, care pot arde liniştite, cu puţine schimbări, timp de miliarde de ani, destul pentru a permite vieţii să se dezvolte şi să înflorească. Dar cu faza de gigantă roşie, această stabilitate se va sfîrşi. Stadiile următoare în cariera unei stele ca soarele sînt complicate, stranii şi violente, cu schimbări relativ rapide de comportare şi aspect. Stelele îmbătrînite pot petrece milioane de ani pulsînd sau îndepărtînd învelişurile de gaze unul după altul. Heliul din miezul stelei se poate aprinde pentru a forma carbonul, azotul sau oxigenul, procurînd astfel energia vitală care va susţine steaua pentru încă un timp. Aruncîndu-şi în spaţiu învelişul exterior, steaua poate sfîrşi redusă la miezul ei de carbon şi oxigen.

Urmînd această perioadă de activitate complicată, stelele de masă medie şi mică devin în mod inevitabil victimele gravitaţiei şi se contractă. Contracţia este nemiloasă şi continuă pînă cînd steaua se reduce la dimensiunea unei mici planete, devenind un obiect cunoscut de astronomi ca pitică albă. Pentru că sînt atît de mici, piticele albe sînt foarte palide, în ciuda

faptului că la suprafaţa lor temperatura poate fi mult mai mare decît cea de pe soare. Ele sînt vizibile de pe Pămînt numai cu ajutorul telescopului.

Un destin de pitică albă îl aşteaptă şi pe soarele nostru în viitorul îndepărtat. Cînd va ajunge la această fază el va continua să rămînă fierbinte pentru multe miliarde de ani; corpul său enorm va fi atît de compact, încît va menţine căldura internă mai eficient decît cel mai bine cunoscut izolator. Totuşi, deoarece furnalul nuclear intern se va fi închis pentru totdeauna, el nu va mai avea rezerve de combustibil spre a completa scurgerea lentă de radiaţie calorică în adîncimile reci ale spaţiului. Foarte, foarte încet pitica rămasă din ceea ce a fost odată puternicul nostru soare se va răci şi se va întuneca pînă va ajunge la metamorfoza finală, solidificîndu-se gradat într-un cristal de o rigiditate extraordinară. În cele din urmă va dispărea complet, scufudîndu-se liniştit în întunecimea spaţiului.

CAPITOLUL 5

Căderea nopţii

Calea Lactee luminează cu strălucirea a o sută de miliarde de stele şi fiecare din ele este osîndită. În zece miliarde de ani cele mai multe stele care sînt acum vizibile vor fi dispărut din vedere, distruse de lipsa de combustibil, victime ale celei de-a II-a legi a termodinamicii.

Dar Calea Lactee va continua să scînteieze cu lumină stelară, pentru că în timp ce unele stele mor, altele se nasc spre a le lua locul. În braţele spiralate ale galaxiei, cum este cel în care se află în prezent soarele nostru, norii de gaz încep să se comprime, să colapseze sub acţiunea gravitaţiei, se fragmentează şi declanşează o cascadă de naşteri stelare. O privire către constelaţia Orion revelează o astfel de activitate de naştere de stele. Stropul luminos de praf din centrul „sabiei" lui Orion nu este de fapt o stea ci o nebuloasă, un nor uriaş de gaz presărat cu stele tinere şi strălucitoare. Observînd mai degrabă radiaţiile infraroşii decît lumina vizibilă, astronomii au surprins recent, privind la această nebuloasă, stele aflate în primele stadii de formare, încă înconjurate de gaze şi praf întunecat.

Formarea stelelor în braţele spiralate ale galaxiei noastre va continua atît timp cît există destul gaz. Gazul conţinut în galaxie este în parte material primordial

neagregat încă în stele şi în parte gaz aruncat din stele, în supernove, vînt stelar, mici explozii şi alte procese. Este evident că reciclarea materiei nu poate dura veşnic. Cum stelele bătrîne mor şi colapsează devenind pitice albe, stele neutronice sau găuri negre, ele vor fi incapabile să reumple rezervoarele de gaz interstelar. Încetul cu încetul, materialul primordial va fi încorporat în stele, pînă va fi şi el total epuizat. După ce aceste stele recente îşi vor parcurge ciclul de viaţă şi vor muri, în mod inexorabil galaxia va începe să se stingă. Dispariţia ei va fi doar amînată. Multe miliarde de ani se vor scurge pînă cînd cele mai mici şi mai tinere stele îşi vor fi terminat arderea nucleară, transformîndu-se în pitice albe. Dar cu un final încet, agonizant, noaptea eternă va cădea cu siguranţă.

O soartă asemănătoare pîndeşte şi celelalte galaxii răspîndite în toate genunile ce se deschid în spaţiu. Universul, de obicei iluminat cu prolifica energie a puterii nucleare, va epuiza pînă la urmă această valoroasă resursă. Epoca luminii se va încheia pentru totdeauna.

Sfîrşitul universului nu va veni totuşi o dată cu dispariţia luminilor cosmice, deoarece mai există o altă sursă de energie, chiar mai puternică decît reacţiile nucleare. Gravitaţia, cea mai slabă dintre forţele naturii la nivel atomic, devine atotstăpînitoare la scară astronomică. Ea poate fi relativ blîndă în efectele sale, dar acţionează foarte persistent. Timp de miliarde de ani, stelele se sprijină pe arderea nucleară în lupta împotriva propriei lor greutăţi. Dar în tot acest timp gravitaţia aşteaptă să-şi exercite dreptul asupra lor.

Forţa gravitaţională între doi protoni din nucleul atomic reprezintă abia a zecea bilionime de bilionime de bilionime (10^{-37}) din forţa nucleară mare. Dar gravitaţia este cumulativă. Fiecare proton care apare în

stea se adaugă la greutatea totală. În ultimă instanţă forţa gravitaţională e copleşitoare. Şi aceasta forţă copleşitoare reprezintă cheia ce declanşează o imensă putere.

Nici un obiect nu ilustrează mai bine puterea gravitaţiei decît o gaură neagră. Aici, gravitaţia a triumfat total, strivind o stea pînă ce nu rămîne nimic şi lăsînd o amprentă în spaţiul-timp înconjurător sub forma unei continue deformări temporale. Există un fascinant experiment gîndit privitor la găurile negre. Imaginaţi-vă că aruncăm un corp mic, de exemplu mingea de biliard, de la mare distanţă într-o gaură neagră. Bila va dispărea din vedere, adîncindu-se în gaură şi va fi iremediabil pierdută. Ea va lăsa totuşi o urmă a existenţei sale de odinioară în structura găurii, care devine uşor mai mare datorită mingii înghiţite. Calculul arată că dacă mingii i se dă drumul de la mare distanţă în gaură, atunci aceasta va cîştiga o masă egală cu masa iniţială a mingii. Nici un pic de energie sau masă nu se pierde.

Să luăm acum în considerare un alt experiment în care mingea este coborîtă încet către gaură. Acest lucru se poate face cu o sfoară legată de minge, trecînd sfoara peste un scripete într-un cilindru şi permiţînd sforii să se descolăcească (v. fig. 5.1). Am presupus că sfoara nu se întinde şi nu cîntăreşte nimic, ceea ce este ireal, dar ajută la evitarea complicaţiilor. Cînd mingea este coborîtă, ea poate elibera energie, de exemplu, învîrtind un generator electric legat de cilindru. Cu cît mingea se apropie de suprafaţa găurii negre, cu atît mai puternică va fi atracţia sa gravitaţională exercitată asupra mingii. În timp ce greutatea sa creşte astfel, mingea acţionează din ce în ce mai puternic asupra generatorului. Un calcul simplu arată cîtă energie va fi eliberat mingea către generator pînă cînd ajunge la suprafaţa găurii negre. În cazul ideal, răspunsul se

dovedeşte a fi *întreaga* energie provenită din masa de repaus a mingii. (Am explicat conceptul de masă de repaus la p. 54.)

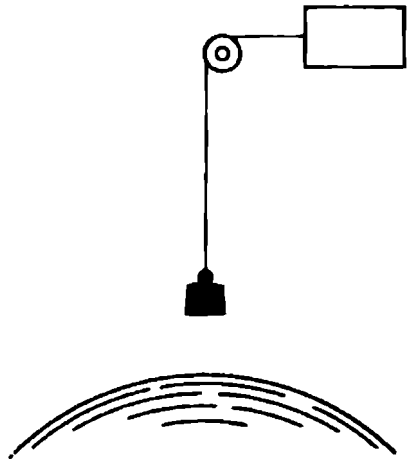


FIGURA 5.1 În acest experiment idealizat o greutate este lăsată în jos pe o frînghie către suprafaţa unei găuri negre, folosind un sistem de scripeţi ficşi (fixarea nu este arătată). Ca urmare, greutatea ce coboară acţionează şi eliberează energie către cutie. Energia totală eliberată se apropie de întreaga energie a masei de repaus a greutăţii, pe măsură ce greutatea se apropie de suprafaţa găurii negre.

Să ne reamintim faimoasa formulă a lui Einstein $E=mc^2$ care ne spune că o masă m are o cantitate de energie mc^2. Folosind o gaură neagră, am putea în principiu recupera o parte. În cazul unei mingi de biliard cîntărind 100 grame, partea înseamnă aproximativ un miliard de kilowaţi oră de electricitate. Prin comparaţie, atunci cînd soarele arde 100 grame de combustibil prin fuziune nucleară eliberează mai puţin de un procent din această cifră. Deci, în principiu, energia gravitaţională eliberată poate fi de peste o sută de ori mai puternică decît fuziunea termonucleară care furnizează energie stelelor.

Cu siguranţă, cele două situaţii inventate şi descrise de noi aici sînt total nerealiste. Fără îndoială că mereu cad

obiecte către găurile negre, dar niciodată atîrnînd de un scripete pentru a elibera energie în modul cel mai eficient. Astfel încît în practică se emite o valoare intermediară de energie cuprinsă între zero şi o sută de procente din energia masei de repaus. Fracţiunea efectivă depinde de circumstanţele fizice. În ultimele două decade, astrofizicienii au studiat o serie de simulări pe calculator şi alte modele matematice pentru a înţelege comportarea gazului atunci cînd se învîrteşte într-o gaură neagră şi pentru a estima cantitatea şi genul de energie eliberată. Procesele fizice implicate aici sînt foarte complicate; este totuşi clar că enormele cantităţi de energie gravitaţională pot fi eliberate de astfel de sisteme.

O singură observaţie face cît o mie de calcule, iar astronomii au efectuat intense cercetări asupra obiectelor ce ar putea fi găuri negre aflate în procesul de absorbţie a materiei. Deşi o gaură neagră foarte convingătoare nu a fost găsită încă, un sistem care pare foarte promiţător este localizat în constelaţia Cygnus şi este cunoscut sub numele de Cygnus X-1. Un telescop optic revelează o stea mare, fierbinte, de tipul cunoscut ca gigantă albastră datorită culorii sale. Studiile spectroscopice indică faptul că steaua albastră nu este singură; ea oscilează ritmic — un indiciu că este atrasă periodic de gravitaţia unui obiect vecin. Este evident că steaua şi alt corp se află pe orbite apropiate unul în jurul celuilalt. Telescoapele optice nu dau totuşi nici un semn despre vreun companion; este ori un obiect negru, ori o stea compactă foarte întunecată. Acest lucru este sugestiv pentru o gaură neagră, dar nu reprezintă nicidecum o dovadă.

Un alt indiciu apare din estimarea masei corpului negru. Aceasta poate fi dedusă din legile lui Newton o dată ce cunoaştem masa gigantei albastre pe care o putem estima datorită relaţiei strînse între masa unei

stele şi culoarea ei: stelele albastre sînt fierbinţi şi deci au masă mare. Calculele arată că nevăzutul companion are o masă echivalentă cu cîteva mase solare. Este deci clar că nu este o stea normală mică şi întunecată, aşa că trebuie să fie o stea masivă prăbuşită, fie o pitică albă, o stea neutronică, fie o gaură neagră. Există totuşi motive fizice importante pentru care un obiect compact atît de masiv nu poate fi nici o pitică albă, nici o stea neutronică. Problema priveşte cîmpul gravitaţional intens care încearcă să strivească obiectul. Colapsul total către o gaură neagră poate fi evitat numai dacă există vreun fel de presiune internă suficient de puternică să facă faţă forţei gravitaţionale de comprimare. Dar dacă obiectul prăbuşit are mai multe mase solare nu se cunoaşte nici o forţă care să reziste acelei greutăţi strivitoare a materialului său. Într-adevăr, dacă miezul stelei ar fi suficient de tare pentru a evita de a fi strivit, atunci viteza sunetului în material ar trebui să depăşească viteza luminii. Cum acest lucru contrazice teoria relativităţii speciale, majoritatea fizicienilor şi a astronomilor crede că formarea unei găuri negre este inevitabilă în asemenea circumstanţe.

Dovada hotărîtoare că Cygnus X-1 conţine o gaură neagră vine dintr-o cu totul altă observaţie. Numele X-1 a fost dat pentru că acest sistem este o puternică sursă de raze X, care pot fi detectate de senzori aflaţi la bordul sateliţilor. Modelele teoretice vorbesc foarte convingător despre aceste raze X, bazîndu-se pe presupunerea că obiectul întunecat, companion al lui Cygnus X-1, este o gaură neagră. Cîmpul gravitaţional calculat al găurii este suficient de puternic pentru a aspira materia stelei gigantice albastre. În timp ce gazele abduse sînt trase spre gaură — şi dispariţia finală — rotaţia orbitală a sistemului ar determina materia ce

cade să se învîrtă în jurul găurii negre şi să formeze un disc. Un astfel de disc nu poate fi complet stabil pentru că materia mai apropiată de centru orbitează în jurul găurii negre mult mai repede decît cea de la margine şi forţele de vîscozitate vor încerca să egalizeze această rotaţie diferenţiată. Ca rezultat, gazul se încălzeşte la o temperatură suficient de înaltă pentru a emite nu numai lumină, ci şi raze X. Pierderea de energie orbitală pe care aceasta o reprezintă determină gazul să spiraleze încet în gaură.

Dovada existenţei unei găuri negre în Cygnus X-1 se bazează deci pe un lung şir de raţionamente implicînd atît detalii bazate pe observaţie, cît şi modelarea teoretică. Acest lucru este tipic pentru natura majorităţii cercetărilor astronomice în zilele noastre: nici una din dovezi nu se impune, dar diversele studii asupra lui Cygnus X-1 şi a unui număr de sisteme similare sugerează cu putere prezenţa unei găuri negre. Cu siguranţă explicaţia găurii negre este cea mai clară şi cea mai puţin controversată.

Efecte chiar mai spectaculoase sînt de aşteptat de la găurile negre mai mari. La ora actuală se pare că multe galaxii conţin în centrul lor găuri negre supermasive. Dovada pentru aceasta este mişcarea rapidă pe care o au stelele din nucleul galactic; stelele sînt aparent îndreptate către un obiect compact cu o foarte puternică gravitaţie. Estimările masei unor astfel de obiecte posibile sînt între zece milioane şi un miliard de mase solare, ceea ce le-ar da o poftă vorace pentru orice bucăţică de materie ce rătăceşte în vecinătatea lor. Stelele, planetele, gazul şi praful cad probabil pradă acestor monştri. Violenţa procesului de cădere ar putea fi uneori atît de mare, încît să distrugă întreaga structură a galaxiei. Astronomii sînt obişnuiţi cu o mare varietate de nuclee galactice active. Unele galaxii dau

impresia că literalmente explodează; multe sînt puternice surse de unde radio, raze X şi alte forme de energie. Foarte aparte este o clasă de galaxii active care împrăştie enorme jeturi de gaz, pe o distanţă de mii sau chiar milioane de ani lumină. Energia emisă de unele dintre aceste obiecte este uimitoare. De exemplu quasarii foarte îndepărtaţi — numele este prescurtarea de la „quasi-stellar objects" (obiecte cvasistelare) — pot emite tot atîta energie cît mii de galaxii, şi încă de la o regiune mică de doar un an lumină ca diametru, dîndu-le aparenţa superficială de stele.

Mulţi astronomi cred că motoarele centrale ale tuturor acestor obiecte atît de sfărîmate sînt găuri negre rotative, imense, aflate în procesul de aspirare a materialului din vecinătatea lor. Este probabil că orice stea care se apropie de o gaură va fi sfărîmată de gravitaţia găurii sau se va ciocni cu alte stele şi se va face bucăţi. Ca şi în cazul lui Cygnus X-1, dar la o scară mult mai mare, materialul rezultat ar forma probabil un disc de gaze fierbinţi care orbitează în jurul găurii şi încet se scufundă în ea. Eliberarea concomitentă de mari cantităţi de energie gravitaţională poate fi apoi canalizată de-a lungul axei de rotaţie a găurii, producînd două jeturi de direcţie opusă. Mecanismul acestei eliberări de energie şi formarea jeturilor pare a fi foarte complicat, implicînd forţe electromagnetice, de vîscozitate şi altele, ca şi gravitaţia. Tema rămîne obiectul unei intense munci teoretice şi de observaţie.

Dar ce se întîmplă cu Calea Lactee? Ar fi posibil ca însăşi galaxia noastră să fie sfărîmată astfel? Centrul Căii Lactee se află la o distanţă de 30 000 de ani lumină în constelaţia Sagittarius (Săgetătorului). Regiunile ei interioare sînt întunecate de nori mari de praf şi gaz, dar instrumentele pentru unde radio, raze X, gamma sau infraroşii au dat astronomilor posibilitatea să con-

state existenţa unui obiect deosebit de compact cu energie înaltă numit Sagittarius A*. Nu mai mare de cîteva miliarde de kilometri în diametru (mic, după standardele astronomice), Sagittarius A* este totuşi cea mai puternică sursă radio din galaxie. Poziţia sa coincide cu aceea a unei surse foarte intense în infraroşu şi este de asemenea aproape de un obiect neobişnuit ce emite raze X. Deşi situaţia este complicată, se pare din ce în ce mai mult că cel puţin o gaură neagră masivă se ascunde acolo şi se face responsabilă de o parte din fenomenele observate. Totuşi masa găurii nu depăşeşte probabil zece milioane de mase solare, situîndu-se deci la baza ordinului de mărime supermasiv. Nu există nici o dovadă a unei emisiuni violente de energie şi material, aşa cum se întîmplă în nucleele altor galaxii, din cauză că gaura neagră este în mod curent într-o stare calmă. Ar putea izbucni la un moment dat în viitor — poate dacă va primi o mai mare cantitate de gaze — deşi nu ar fi probabil atît de distructiv ca multe alte sisteme cunoscute. Este neclar ce efect ar avea o astfel de izbucnire asupra stelelor şi planetelor din braţele spiralate ale galaxiei.

O gaură neagră va continua să elibereze energia de repaus a materiei sacrificate atît timp cît există în vecinătatea ei material pentru a o hrăni. De-a lungul timpului, din ce în ce mai multă materie va fi înghiţită de găurile negre şi, drept rezultat, ele vor deveni din ce în ce mai mari şi mai nesăţioase. Chiar şi stelele care orbitează la o distanţă destul de mare în jurul unei găuri masive vor pieri în cele din urmă. Motivul este un fenomen foarte slab, dar în final decisiv, numit *radiaţie gravitaţională.*

La scurt timp după ce Einstein a formulat teoria generală a relativităţii, el a descoperit o proprietate importantă a cîmpului gravitaţional. Dintr-un studiu al

ecuaţiilor de cîmp ale teoriei, Einstein a găsit că ele presupun existenţa unor oscilaţii gravitaţionale asemenea unor unde care se propagă prin spaţiul gol cu viteza luminii. Această radiaţie gravitaţională este remanentă din radiaţia electromagnetică, aşa ca lumina şi undele radio. Totuşi, deşi poate purta multă energie, radiaţia gravitaţională diferă de cea electromagnetică prin puterea cu care perturbă materia. În timp ce o undă radio este absorbită de o structură atît de delicată ca o împletitură metalică, o undă gravitaţională interacţionează aşa de slab încît ar strabate Pămîntul aproape fără diminuare. Dacă aţi putea construi un laser gravitaţional aţi avea nevoie de o rază de un bilion de kilowaţi pentru a fierbe o oală de apă, aşa cum o face o spirală electrică de un kilowatt. Comparativa slăbiciune a radiaţiei gravitaţionale poate fi pusă pe seama faptului că gravitaţia este de departe cea mai slabă dintre forţele cunoscute ale naturii. Raportul dintre forţele gravitaţionale şi electrice într-un atom, de exemplu, este de aproximativ 10^{-40}. Singurul motiv pentru care observăm forţa gravitaţiei este faptul că efectele sale sînt cumulative şi de aceea ea predomină în obiectele mari cum ar fi planetele.

Nu numai că undele gravitaţionale sînt foarte slabe în efectele lor, dar şi producerea lor are loc în mod silenţios. În principiu, radiaţia gravitaţională se produce ori de cîte ori masele sînt perturbate. De exemplu, mişcarea Pămîntului în jurul soarelui emite continuu unde gravitaţionale, dar puterea totală pe care o produce este de-abia 1 miliwatt! Această scurgere de energie face ca orbita Pămîntului să coboare, dar teribil de încet: aproximativ a mia bilioana parte dintr-un centimetru pe deceniu. Situaţia este cu totul diferită pentru corpuri astronomice masive ce se mişcă cu viteze apropiate de viteza luminii. Două feluri de fenomene

par să conducă la efecte importante ale radiaţiei gravitaţionale. Unul este un efect evident şi brusc, cum ar fi o supernovă sau colapsul unei stele pentru a forma o gaură neagră. Rezultatul este emisia unui impuls de această durată de radiaţie gravitaţională în poate cîteva minisecunde şi purtînd cu el o energie de 10^{44} J. (Comparaţi aceasta cu emisia de căldură a soarelui care este de aproximativ 3 x 10^{26} J pe secundă.) Celălalt fenomen este mişcarea rapidă, a unor obiecte masive ce orbitează unul faţă de celălalt. De exemplu, o pereche apropiată de stele binare va genera un flux mare, continuu de radiaţie gravitaţională. Acest proces este mult mai eficient dacă stelele ce orbitează sînt obiecte colapsate, ca de exemplu stelele neutronice sau găurile negre. În constelaţia Aquila se află două stele neutronice care îşi au orbita numai la cîteva milioane de kilometri una de alta. Cîmpurile gravitaţionale sînt atît de puternice încît fiecare orbită este parcursă în mai puţin de opt ore, astfel că stelele se mişcă cu o viteză egală cu o fracţiune importantă din viteza luminii. Această neobişnuit de rapidă mişcare amplifică mult viteza de emisie a undelor gravitaţionale şi determină orbita să scadă cu o cantitate măsurabilă în fiecare an (cam 75 microsecunde pe o astfel de perioadă). Viteza de emisie creşte pe măsură ce stelele se mişcă în spirală una faţă de alta. Ele sînt destinate să intre una în alta peste 300 milioane de ani.

Astronomii estimează că un sistem binar de acest fel se întrepătrunde cam o dată la 100 000 ani per galaxie. Atît de compacte sînt obiectele şi atît de imens cîmpul lor gravitaţional, încît, în ultimele momente ce preced impactul, stelele orbitează una în jurul celeilalte de mii de ori pe secundă, iar frecvenţa undei gravitaţionale va creşte repede cu un zgomot caracteristic. Formulele lui Einstein arată că puterea gravitaţională eliberată în

această fază finală va fi imensă şi orbita va cădea rapid. Forma stelelor va fi puternic distorsionată de atracţia gravitaţională reciprocă, astfel încît în momentul cînd se vor atinge vor arăta ca nişte imense ţigări răsucite. Rezultatul contopirii va fi o afacere tare încurcată, cele două stele tinzînd să formeze o masă complicată, foarte săltăreaţă care va emite în mod prolific radiaţii gravitaţionale pînă cînd va deveni o formă sferică, bălăbănindu-se ca un clopot monstruos într-un tip anumit de vibraţii. Aceste oscilaţii vor produce şi ele o oarecare creştere a radiaţiei gravitaţionale, secătuind obiectul de încă mai multă energie, pînă cînd se calmează şi în cele din urmă devine inert.

Deşi rata pierderii energiei este relativ înceată, emisia de radiaţie gravitaţională pare să aibă efecte pe termen lung asupra structurii universului. De aceea este important ca oamenii de ştiinţă să încerce să-şi confirme ideile despre radiaţia gravitaţională prin observaţie. Studiile asupra sistemului de stele binare neutronice din Aquila arată că orbita coboară exact cu viteza prezisă de teoria lui Einstein. Acest sistem furnizează de aceea o dovadă directă pentru emisia de radiaţie gravitaţională. Un test mai decisiv cere totuşi detectarea unor astfel de radiaţii într-un laborator de pe Pămînt. Multe grupuri de cercetători au construit echipamentul necesar pentru a înregistra trecerea în zbor a unei explozii de unde gravitaţionale, dar pînă acum nici unul din aceste aparate nu a fost destul de sensibil pentru a detecta o astfel de radiaţie şi deci trebuie să aşteptăm probabil o nouă generaţie de detectoare, înainte ca existenţa radiaţiei gravitaţionale să fie complet confirmată.

Contopirea a două stele neutronice poate produce fie o stea neutronică mai mare, fie o gaură neagră. Contopirea unei stele neutronice cu o gaură neagră sau a două găuri negre trebuie să producă o singură gaură

neagră. Acest proces ar fi însoţit de o pierdere a energiei undei gravitaţionale, similară cu cea în cazul stelelor neutronice binare urmată de mişcări circulare şi vibratorii complicate, care ar fi încet înăbuşite de pierderea de putere a undei gravitaţionale.

Este interesant de studiat limitele teoretice ale energiei gravitaţionale care poate fi extrasă în timpul contopirii a două găuri negre. Teoria acestor procese a fost elaborată de Roger Penrose, Stephen Hawking, Brandon Carter, Remo Ruffini, Larry Smarr şi alţii la începutul anilor '70. Dacă găurile au mase egale şi nu sînt în rotaţie, pot fi eliberate aproape 29 procente din energia totală a masei de repaus. Aceasta nu trebuie să fie complet sub formă de radiaţie gravitaţională dacă gaura neagră a fost în vreun fel influenţată de o tehnologie avansată, dar într-o contopire naturală cea mai mare parte din energia eliberată ar fi sub această formă discretă. Dacă găurile s-ar roti cu viteza maximă permisă de legile fizicii (aproximativ cu viteza luminii) şi s-ar contopi de-a lungul axelor de rotaţie rotindu-se în sens contrar, atunci ar putea fi emise 50 procente din energia-masă.

Chiar această fracţiune sesizabilă nu reprezintă în mod teoretic maximul. Este posibil ca o gaură neagră să aibă sarcină electrică. O gaură neagră încărcată electric are un cîmp electric şi un cîmp gravitaţional şi amîndouă pot înmagazina energie. Dacă o gaură neagră cu sarcină pozitivă o întîlneşte pe una cu sarcină negativă, are loc o „descărcare" cu eliberare de energie atît electromagnetică cît şi gravitaţională.

Apare o limită în această descărcare, o dată ce o gaură neagră de o anumită masă poate avea o sarcină electrică, dar pînă la o anumită valoare maximă. Pentru o gaură lipsită de rotaţie, această valoare este fixată de următorul considerent. Imaginaţi-va două găuri iden-

tice, cu aceeaşi sarcină. Cîmpurile gravitaţionale ale găurilor vor da naştere la o forţă de atracţie între ele, în timp ce cîmpul electric va produce o forţă de respingere (ca respingerea sarcinilor). Cînd raportul dintre sarcină şi masă ajunge la o valoare critică, cele două forţe opuse se vor echilibra şi nu va mai fi aici o forţă efectivă între găurile negre. Această condiţie marchează limita cantităţii de sarcină electrică pe care o poate conţine o gaură neagră. Ne putem întreba ce s-ar întîmpla dacă am încerca să mărim sarcina unei găuri negre peste valoarea maximă. Unul din modurile de a face acest lucru ar fi să trimitem cu forţa mai multă sarcină în interiorul găurii. Acest procedeu va servi pentru a mări sarcina electrică, dar lucrul mecanic efectuat pentru a birui respingerea electrică foloseşte energie şi această energie este livrată găurii. Deoarece energia are masă (amintiţi-vă $E = mc^2$) gaura devine mai masivă, aşadar mai mare. Un calcul simplu arată că în acest proces masa creşte mult mai mult decît sarcina, astfel încît raportul dintre sarcină şi masă descreşte, iar încercarea de a depăşi limita eşuează.

Cîmpul electric al unei găuri negre cu sarcină contribuie la masa totală a ei. În cazul unei găuri purtînd încărcătura maximă admisă, cîmpul electric reprezintă jumătate din masă. Dacă două găuri fără rotaţie poartă maximum de încărcătură, dar de semn opus, atunci ele se vor atrage una pe alta atît cu forţă gravitaţională cît şi cu cea electromagnetică. Cînd ele se contopesc, sarcinile electrice se neutralizează şi energia electrică poate fi extrasă. Din punct de vedere teoretic, aceasta poate reprezenta cel mult 50 procente din energia totală a masei sistemului.

Limita superioară absolută a extracţiei energiei are loc dacă ambele găuri sînt în rotaţie şi dacă poartă şi sarcini electrice (opuse) fiecare, la valoare maximă. Atunci se

pot elibera două treimi din energia totală a masei. Bineînţeles, aceste valori prezintă numai un interes teoretic, deoarece în practică o gaură neagră nu pare să aibă o sarcină electrică mare şi nici două găuri negre nu par să se contopească în manieră optimă, decît dacă sînt determinate să facă astfel de către o comunitate tehnologică avansată. Totuşi chiar contopirea ineficientă a două găuri negre va produce probabil o eliberare de energie aproape instantanee ce s-ar ridica la o fracţiune semnificativă din energia totală a masei obiectelor considerate. Aceasta ar putea fi comparată cu meschinul un procent din energia masei pe care stelele o emit prin fuziune nucleară de-a lungul vieţii lor de multe miliarde de ani.

Semnificaţia acestor procese gravitaţionale constă în faptul că, departe de a muri, o stea ce şi-a încheiat arderea are posibilitatea să elibereze mult mai multă energie, ca cenuşă căzută, decît prin procesele termonucleare, ca minge incandescentă de gaz. Cînd acest lucru a fost recunoscut, acum vreo douăzeci de ani, fizicianul John Wheeler — cel care a creat expresia „gaura neagră" — a conceput o civilizaţie ipotetică a cărei cerere crescîndă de energie a făcut-o să-şi abandoneze steaua proprie pentru a rezida în jurul unei găuri negre în rotaţie. În fiecare zi numeroasele produse ale acestei comunităţi sînt încărcate în camioane şi expediate înspre gaură pe o traiectorie calculată cu grijă. În apropierea găurii conţinutul este eliberat din camioane şi răsturnat în gaura unde rămîne pentru totdeauna. Materialul care cade, călătorind pe o cărare cu sensul de rotaţie invers decît cel al găurii, are efectul de a frîna în mod lent rotirea. Energia de rotaţie a găurii este astfel eliberată şi poate fi utilizată de civilizaţie pentru a-şi potenţa industria. Procesul are deci dubla virtute de a elimina complet deşeurile transformîndu-le

în energie pură. În acest fel, civilizaţia poate să elibereze la cerere o cantitate mult mai mare de energie din steaua moartă, decît emitea ea vreodată în faza sa luminoasă.

Deşi utilizarea puterii unor găuri negre este un scenariu ştiinţifico-fantastic, o mare cantitate de materie va sfîrşi în interiorul lor fie în mod natural, fie ca o parte a stelei care colapsează pentru a forma gaura, fie ca fărîme înghiţite în timpul unei întîlniri întîmplătoare. De cîte ori ţin conferinţe despre găurile negre, oamenii vor să ştie ce se întîmplă cu un lucru ce intră într-una din ele. Răspunsul pe scurt este că nu ştim. Ceea ce cunoaştem despre găurile negre se bazează aproape integral pe consideraţii teoretice şi modelare matematică. Într-adevăr, prin definiţie nu putem observa interiorul unei găuri negre din exterior, astfel încît chiar dacă am avea un acces bun de observare la o gaură neagră (ceea ce nu avem) nu am putea niciodată cunoaşte ce se întîmplă în interiorul ei. Totuşi teoria relativităţii, care prezice existenţa găurilor negre, poate fi folosită şi spre a vedea ce s-ar întîmpla cu un astronaut ce ar cădea într-una din ele. Ceea ce urmează este un sumar al acestor deducţii teoretice.

Suprafaţa găurii este chiar numai o construcţie matematică — nu există nici o membrană reală acolo, numai spaţiu gol. Astronautul care cade nu şi-ar da seama de nici o diferenţă, atunci cînd el sau ea ar pătrunde în gaură. Totuşi suprafaţa are o semnificaţie fizică certă şi oarecum dramatică. În interiorul găurii gravitaţia este atît de puternică încît captează lumina, împingînd înapoi fotonii care vor să plece. Aceasta înseamnă că lumina nu poate evada din gaură, de aceea ea apare neagră dinspre exterior. Deoarece nici un obiect fizic şi nici o informaţie nu pot călători mai repede decît lumina, nimic nu mai poate evada din gaura neagră,

odată trecută această graniţă. Evenimentele ce au loc în interiorul găurii sînt pentru totdeauna ascunse observatorilor externi. De aceea ne referim la suprafaţa găurii ca la un „orizont al evenimentului", pentru că separă evenimentele din exterior ai căror martori putem fi de departe, de cele din interior ce nu pot fi observate. Efectul este totuşi doar într-un sens. Astronautul din interiorul „orizontului evenimentului" mai poate vedea universul din exterior, deşi pe el (astronautul) nimeni de afară nu îl poate vedea.

Cînd astronautul se scufundă mai adînc în gaură, cîmpul gravitaţional creşte. Unul din efecte este deformarea corpului. Dacă astronautul cade în picioare, picioarele vor fi mai aproape decît capul de centrul găurii unde gravitaţia este mai puternică. Ca rezultat picioarele vor fi trase în jos mai tare, trăgînd trupul în lungime. În acelaşi timp umerii vor fi împinşi înspre centru pe căi convergente, astfel încît astronautul va fi presat din toate părţile. Acest proces de întindere şi presare este un fel de „spaghetificare".

Teoria sugerează că în centrul găurii negre gravitaţia creşte fără limite. Deoarece cîmpul gravitaţional se manifestă ca o curbare sau deformare spaţiu-timp, creşterea gravitaţiei este însoţită de o deformare a acestuia care se ridică tot la limite necunoscute. Matematicienii se referă la această trăsătură numind-o o singularitate spaţio-temporală. Aceasta reprezintă un capăt sau o margine a spaţiului şi timpului prin care conceptul normal de spaţiu-timp nu mai poate fi continuat. Mulţi fizicieni cred că singularitatea în interiorul găurii negre reprezintă sfîrşitul spaţiului şi timpului şi că în mod autentic orice lucru care-l întîlneşte va fi complet anihilat. Dacă aşa se întîmplă, atunci chiar atomii corpului astronautului vor dispărea în interiorul singularităţii într-o nanosecundă de „ultraspaghetificare".

Dacă gaura neagră are masa egală cu zece milioane de sori similară cu gaura neagră care s-ar putea afla în centrul Căii Lactee şi este fără rotaţie, atunci durata resimţită de astronaut în cădere de la orizontul evenimentului pînă la singularitatea de anihilare va fi de aproximativ trei minute. Aceste ultime trei minute vor fi foarte neplăcute; în practică, „spaghetificarea" îl va ucide pe nefericitul individ mult înainte ca singularitatea să fie atinsă. În timpul acestei faze finale, el nu va putea în nici un caz să vadă singularitatea fatală, pentru că lumina nu poate ieşi de acolo. Dacă respectiva gaură neagră are exact o masă solară, raza sa este de circa trei kilometri, iar călătoria de la orizontul evenimentului pînă la singularitate va dura cîteva microsecunde.

Deşi timpul scurs pînă la distrugere este foarte scurt după cum s-a văzut în cadrul experienţei astronautului în cădere, deformarea în timp a găurii este de aşa natură, încît văzută de departe, ultima călătorie a astronautului pare a avea loc cu încetinitorul. Cînd astronautul se apropie de orizontul evenimentului, mersul lucrurilor în vecinătatea sa apare observatorului îndepărtat ca încetinind din ce în ce. În fapt se pare că trebuie să treacă un timp infinit pînă cînd astronautul să ajungă la orizont. Astfel, ceea ce pare o eternitate în regiunile depărtate ale universului este trăit în mare grabă de astronaut. În acest sens, o gaură neagră este un fel de poartă către sfîrşitul universului, o fundătură cosmică reprezentînd ieşirea spre nicăieri. O gaură neagră este o regiune mică a spaţiului care conţine sfîrşitul timpului. Aruncîndu-se în ea, cei care ar fi curioşi să afle sfîrşitul universului pot să-l experimenteze în mod direct pentru ei înşişi. Deşi gravitaţia este de departe cea mai slabă forţă a naturii, acţiunea sa insidioasă şi cumulativă serveşte pentru a hotărî soarta finală nu numai a obiectelor astronomice indi-

viduale, dar şi a întregului cosmos. Aceeaşi atracţie care distruge fără remuşcări o stea operează pe o scară mult mai mare la nivelul universului ca întreg. Consecinţa acestei atracţii universale depinde de cantitatea totală de materie de atras. Pentru a o afla trebuie să cîntărim universul.

CAPITOLUL 6

Cîntărind universul

Se spune adesea că ceea ce pleacă trebuie să şi revină. Atracţia gravitaţională asupra unui corp proiectat să se înalţe spre cer îl determină să-şi frîneze zborul şi să se întoarcă pe Pămînt. Dar nu totdeauna. Dacă el se mişcă destul de repede atunci poate totuşi să scape de gravitaţia terestră şi să zboare în spaţiu, fără a se mai întoarce niciodată. Rachetele care lansează nave spaţiale interplanetare reuşesc să dobîndească aceste viteze mari.

Viteza critică „de evadare" este de aproximativ 11 kilometri pe secundă (25 mii de mile pe oră) — de peste 20 de ori viteza lui Concorde. Acest număr critic derivă atît din masa Pămîntului — cantitatea de materie pe care o conţine — cît şi din raza sa. Pentru un corp de masă dată, cu cît el este mai mic, cu atît gravitaţia sa superficială este mai mare. A evada din sistemul solar înseamnă a învinge gravitaţia soarelui: viteza de evadare necesară este de 618 kilometri pe secundă. Evadarea din Calea Lactee cere şi o viteză de cîteva sute de kilometri pe secundă. La cealaltă extremă viteza de evadare pentru un obiect compact cum ar fi o stea neutronică este de zeci de mii de kilometri pe secundă, în timp ce pentru o gaură neagră ar fi necesară viteza luminii (300 000 kilometri pe secundă).

Dar pentru a evada din univers? Aşa cum am subliniat în capitolul 2, universul nu pare a avea o margine din care să evadăm, dar dacă pretindem că o are şi că aceasta este situată la limita observaţiilor noastre (la o distanţă de aproximativ 15 miliarde ani lumină), atunci viteza de evadare va fi aproape de viteza luminii. Acesta este un rezultat foarte semnificativ, deoarece cele mai depărtate galaxii par să se îndepărteze de noi cu o viteză apropiată de cea a luminii. Galaxiile par să zboare atît de repede, încît chiar că ar putea să „evadeze" din univers sau cel puţin una faţă de alta, fără a mai „reveni vreodată".

De fapt, se dovedeşte că universul expansionist se comportă de o manieră analogă unui corp proiectat de pe Pămînt, chiar dacă marginea nu este atît de bine definită. Dacă viteza expansiunii este suficient de mare, galaxiile în retragere vor scăpa de gravitaţia cumulativă a întregului material din univers şi expansiunea va continua pentru totdeauna. Pe de altă parte, dacă viteza este prea mică, se va ajunge în final la o oprire, iar universul va începe să se contracte. Atunci galaxiile „vor veni" din nou şi ultima catastrofă cosmică se va produce cînd întregul univers se va nărui.

Care dintre aceste scenarii va avea loc? Răspunsul depinde de compararea a două cifre. Pe de o parte, viteza expansiunii, pe de altă parte, atracţia gravitaţională totală a universului — de fapt greutatea lui. Cu cît este mai mare atracţia gravitaţională, cu atît mai repede trebuie să se extindă universul pentru a o învinge. Astronomii pot măsura rata expansiunii direct, observînd efectul deplasării spre roşu: totuşi răspunsul este încă controversat. A doua cantitate — greutatea universului — este încă şi mai problematică.

Cum să cîntărim universul? Pare o sarcină descurajantă: în mod evident nu o putem face direct. Totuşi

putem fi capabili să-i deducem greutatea folosind teoria gravitaţiei. O limită inferioară se poate atinge direct. Este posibil să aflăm greutatea soarelui măsurînd atracţia sa gravitaţională asupra planetelor. Apoi cunoscînd faptul că galaxia noastră conţine aproximativ 100 miliarde de stele avînd în medie circa o masă solară, aceasta ne dă *grosso modo* o limită inferioară a masei galaxiei. Putem acum aduna toate galaxiile din univers. Nu le putem însuma individual — sînt prea multe —, dar o bună estimare este de zece miliarde. Aceasta ajunge cam la 10^{21} mase solare sau aproximativ 10^{48} tone în total. Luînd raza acestei mulţimi de galaxii ca fiind 15 miliarde ani lumină, putem calcula valoarea minimă a vitezei de evadare din univers: răspunsul se adevereşte a fi cam un procent din viteza luminii. Putem trage concluzia că dacă masa universului ar fi datorată doar stelelor, universul ar evada din propria sa atracţie gravitaţională şi s-ar extinde pe vecie.

Este într-adevăr ceea ce mulţi oameni de ştiinţă cred că se va întîmpla. Dar nu toţi astronomii şi cosmologii sînt convinşi că adunarea s-a făcut corect. Materialul pe care-l vedem este fără îndoială subevaluat faţă de ce există într-adevăr acolo, deoarece nu toate obiectele din univers strălucesc. Corpurile întunecate, cum sînt stelele palide, planetele sau găurile negre, scapă atenţiei noastre. Există şi o mare cantitate de praf şi gaz, dintre care cea mai mare parte nu se poate vedea. În plus, spaţiile dintre galaxii nu sînt chiar lipsite de materie, acolo se pot afla mari cantităţi de gaze rarefiate.

O posibilitate mai interesantă a atras atenţia astronomilor timp de mai mulţi ani. Explozia iniţială din care s-a născut universul a fost sursa întregii materii pe care o vedem, dar a fost şi sursa pentru multă materie pe care nu o vedem acum. Dacă universul a început ca un amestec foarte fierbinte de particule sub-

atomice, atunci — în afară de obişnuiţii protoni, electroni şi neutroni care au format materia obişnuită, tot felul de alte particule, recent identificate în laborator de fizicienii de particule, trebuie şi ele să fi fost create în cantităţi mari. S-a constatat că cele mai multe din aceste diferite tipuri de particule sînt foarte instabile şi s-ar fi descompus curînd, dar unele pot să persiste pînă astăzi ca relicve ale originii cosmosului.

Printre principalele relicve de interes se numără neutrinii, aceste particule fantomatice a căror activitate a fost relevată de supernove (v. capitolul 4). După cîte ştim, neutrinii nu se pot descompune în alte particule. (Actualmente există trei tipuri diferite de neutrini şi ei pot fi capabili să se transforme unii în alţii, dar voi neglija această complicaţie pentru moment.) Deci ne aşteptăm ca universul să fie scăldat într-o mare de neutrini cosmici rămaşi de la explozia iniţială. Presupunînd că energia din universul primordial a fost împărţită democratic între toate particulele subatomice, este posibil să se calculeze cîţi neutrini cosmici ar trebui să existe. Răspunsul arată cam un milion de neutrini pe centimetrul cub de spaţiu sau cam un miliard de neutrini pentru fiecare particulă de materie obişnuită.

Am fost totdeauna foarte fascinat de această concluzie remarcabilă. În orice moment există aproximativ o sută de miliarde de neutrini în interiorul corpului nostru, aproape toţi relicve ale exploziei iniţiale, rămase mai mult sau mai puţin intacte din prima milisecundă de existenţă. Deoarece neutrinii se mişcă cu — sau aproape cu — viteza luminii, ei ne traversează cu atîta repeziciune, încît în fiecare secundă pătrund în corpul nostru o sută de miliarde de miliarde de exemplare. Această violare neîncetată are loc fără să o băgăm de seamă, deoarece interacţiunea neutrinilor cu materia obişnuită este atît de slabă încît este o probabilitate

neglijabilă ca măcar unul dintre ei să se oprească în interiorul corpului nostru în decursul vieţii. Totuşi existenţa atîtor neutrini împrăştiaţi peste tot, în spaţiile aparent goale ale universului, ar putea avea profunde consecinţe asupra sorţii sale finale.

Deşi neutrinii interacţionează foarte slab, ei exercită o forţă gravitaţională la fel ca şi celelalte particule. Ei pot să nu respingă sau să nu atragă materia înconjurătoare în mod direct, dar efectele lor gravitaţionale indirecte s-ar putea dovedi cruciale, adăugîndu-se la masa totală a universului. Pentru a determina cît de mult contribuie neutrinii este necesar să le determinăm masa.

Cînd este vorba de gravitaţie, mai mult contează masa reală decît cea de repaus. Deoarece neutrinii se mişcă cu o viteză apropiată de viteză luminii ei pot să aibă o masă semnificativă chiar dacă masa lor de repaus este mică. Într-adevăr ei pot avea masa de repaus chiar zero şi să se mişte cu viteza luminii. Dacă este aşa, masa lor reală trebuie determinată referindu-ne la energia lor, care în cazul neutrinilor cosmici relicve poate fi dedusă din energia presupusă primită la explozia iniţială. Această energie originară trebuie apoi corectată cu un factor care să ţină seama de efectul de slăbire al expansiunii universului. După ce s-a făcut acest lucru, neutrinii cu masa de repaus zero se dovedesc a *nu* aduce o contribuţie semnificativă la greutatea totală a universului.

Pe de altă parte, nu putem fi siguri că neutrino-ul *are* o masă de repaus zero şi nici că toate cele trei feluri de neutrini au aceeaşi masă de repaus. Cunoaşterea noastră teoretică actuală a neutrinilor nu exclude existenţa unei mase finite de repaus şi astfel devine o chestiune de experiment de a determina masa reală. Aşa cum am menţionat în capitolul 4, ştim că dacă un neutrino are o masă de repaus, ea este cu siguranţă foarte mică,

mult mai mică decît masa de repaus a oricărei alte particule cunoscute. Totuşi, datorită faptului că există atît de mulţi neutrini în univers, chiar şi o masă mică de repaus ar putea duce la o mare diferenţă în greutatea totală a universului. Totul se echilibrează în mod subtil. Chiar o masă cîntărind a zecea mia parte din masa electronului (de altfel, cea mai uşoară particulă cunoscută) ar fi suficientă pentru a produce un impact dramatic, neutrinii ar cîntări atunci mai mult decît toate stelele.

A găsi o masă de repaus atît de mică este foarte dificil şi rezultatele experimentale au fost confuze şi contradictorii. În mod ciudat, detectarea neutrinilor de la supernova 1987 A a furnizat un indiciu important. S-a observat deja că dacă neutrinii au masa de repaus zero, atunci ei ar trebui să călătorească toţi *exact* cu aceeaşi viteză — viteza luminii. Pe de altă parte, dacă un neutrino are o masă de repaus mică, dar nu chiar zero, atunci ar fi posibile un întreg şir de viteze. Neutrinii proveniţi dintr-o supernovă par a avea multă energie şi a se mişca de aceea cu o viteză apropiată de viteza luminii, chiar dacă nu au masa de repaus zero. Totuşi, deoarece ei vor fi călătorit prin spaţiu un timp îndelungat, variaţii mici de viteză ar putea să se traducă prin variaţii măsurabile ale momentului sosirii pe Pămînt. Studiind distanţa pînă la care neutrinii din supernova 1987 A au fost împrăştiaţi în timp, o limită superioară a masei lor de repaus poate fi plasată la aproximativ a treizecea mia parte din masa electronului. Din păcate, situaţia se complică şi mai mult deoarece sînt cunoscute a exista mai multe tipuri de neutrini. Majoritatea determinărilor de mase de repaus se referă la neutrino-ul originar postulat de Pauli, dar de la descoperirea lui a mai apărut un al doilea tip de neutrino şi un al treilea se prefigurează. Toate cele trei feluri de neutrini trebuie să fi fost create din abundenţă

în explozia inițială. Este foarte dificil de găsit limite de masă pentru celelalte două tipuri de neutrini. Experimental, șirul valorilor posibile este foarte mare, totuși teoreticienii cred în general că neutrinii nu predomină în masa universului. Oricum, acest sentiment s-ar putea lesne schimba în lumina noilor determinări experimentale ale maselor neutrinilor.

Neutrinii nu sînt singurele posibile relicve cosmice pe care trebuie să le luăm în considerare cînd estimăm greutatea universului. Mai sînt și alte particule stabile, interacționînd slab, care ar fi putut fi create în explozia inițială, poate chiar cu mase mai mari. (Dacă masa de repaus devine prea mare, producția lor este curmată față de cele cu masă mai mică, deoarece e nevoie de mai multă energie pentru a le produce.) Toate aceste particule sînt cunoscute sub numele de „PMIS" (*WIMPs*), de la „Particule Masive Interacționînd Slab" (*Weakly Interacting Massive Particles*). Teoreticienii au chiar o listă a acestor ipotetice PMIS-uri, ele purtînd nume ciudate, ca: *gravitini, higgsini* sau *fotini (gravitinos, Higgsinos, photinos*). Nimeni nu știe dacă ele există în realitate, dar dacă da, ele trebui să fie luate în considerare în determinarea greutății universului.

Este de remarcat faptul că ar fi posibil de testat existența PMIS-urilor în mod direct, din modul cum se presupune că interacționează cu materia obișnuită. Deși se presupune că această interacțiune este foarte slabă, marea lor masă le permite să capete multă forță. Experimentele într-o mină de sare din nord-estul Angliei și de sub un baraj de lîngă San Francisco au fost plănuite pentru a surprinde trecerea PMIS-urilor. Presupunînd că universul este plin de ele, ar trebui ca un număr enorm de astfel de particule să traverseze Pămîntul și pe noi înșine în mod permanent. Principiul experimentului este uimitor: să detecteze *sunetul* pe care un PMIS îl face cînd se izbește de un nucleu atomic.

Aparatul este alcătuit dintr-un cristal de germaniu sau de siliciu înconjurat de un sistem de răcire. Dacă un PMIS loveşte un nucleu în cristal, momentul său va determina nucleul să ricoşeze. Şocul rapid creează o slabă undă sonoră sau vibraţie în reţeaua de cristal. Pe măsură ce unda se împrăştie, ea slăbeşte şi se transformă în energie termică. Experimentul este menit să detecteze orice creştere mică de temperatură asociată cu descompunerea undei sonore. Răcind cristalul la aproape zero absolut, detectorul este extrem de sensibil la injectarea oricărei energii calorice.

Teoreticienii presupun că galaxiile sînt scufundate într-o masă formată dintr-un furnicar de PMIS-uri care se mişcă uşor, cu mase ce pot fi cuprinse între una şi o mie de mase protonice şi viteze tipice de cîteva mii de kilometri pe secundă. În vreme ce sistemul nostru solar orbitează în galaxie, el se învîrteşte prin această mare invizibilă şi fiecare kilogram de materie de pe Pămînt ar putea împrăştia cam o mie de PMIS-uri pe zi. Dat fiind această viteză a evenimentului, rezultă că detectarea directă a PMIS-urilor ar trebui să fie posibilă.

În timp ce vînătoarea de PMIS-uri continuă, problema cîntăririi universului a fost şi ea atacată de astronomi. Chiar dacă un corp nu poate fi văzut (sau auzit), efectele atracţiei sale gravitaţionale pot totuşi să fie vizibile. De exemplu, planeta Neptun a fost descoperită datorită faptului că astronomii au observat că orbita lui Uranus era perturbată de forţa gravitaţională a unui corp necunoscut. Steaua palidă, pitica albă Sirius B, rotindu-se în jurul strălucitorului Sirius, a fost descoperită în acelaşi mod. Deci, supraveghind mişcarea obiectelor vizibile, astronomii pot construi şi o imagine a materiei nevăzute. (Am explicat deja cum această tehnică a condus la bănuiala că ar putea să existe o gaură neagră în Cygnus X-1.)

În ultimele două decenii, s-au făcut studii serioase asupra modului în care se mişcă stelele în galaxia noastră. Stelele se rotesc în jurul centrului galactic pe o scară de timp ce depăşeşte 200 milioane de ani. Galaxia are forma aproximativă de disc, cu o mare concentrare de stele în jurul centrului. Este astfel o reală asemănare cu sistemul solar, în care planetele se rotesc în jurul soarelui; dar acolo, planetele interioare ca Mercur sau Venus se mişcă mai repede decît cele periferice, ca Uranus şi Neptun, pentru că planetele interioare simt mai puternic atracţia gravitaţională a soarelui. Trebuie să ne aşteptăm ca această regulă să se aplice şi galaxiei; stelele mai apropiate de periferia discului ar trebui să se mişte mult mai încet decît cele apropiate de centru.

Totuşi observaţiile contrazic acest lucru. Stelele se mişcă aproximativ cu aceeaşi viteză prin întregul disc. Explicaţia trebuie să fie căutată în faptul că masa galaxiei nu este concentrată spre mijlocul ei, ci este împrăştiată peste tot, mai mult sau mai puţin uniform. Faptul că galaxia *apare* ca şi cum ar fi concentrată către mijloc sugerează că materialul luminos este numai o parte din total. În mod evident există o mulţime de material întunecat sau invizibil, o parte importantă din el aflîndu-se în regiunile îndepărtate ale discului, accelerînd stelele din această zonă. Ar putea exista chiar mari cantităţi de material întunecat dincolo de marginea vizibilă şi dincolo de planul discului luminos, înconjurînd Calea Lactee cu un halo masiv care se întinde departe, în spaţiul intergalactic. O mişcare asemănătoare este observată şi în alte galaxii. Măsurătorile indică faptul că regiunile vizibile ale galaxiilor sînt în medie cam de zece ori mai mari decît o sugerează strălucirea lor (în raport cu soarele), iar raportul creşte pînă la 5 000 în cele mai îndepărtate regiuni.

Acelaşi tip de concluzie se desprinde şi din studiul mişcărilor galaxiilor în interiorul roiurilor galactice. În mod evident, dacă o galaxie se mişcă suficient de repede, ea scapă atracţiei gravitaţionale a roiului. Dacă toate galaxiile din roiul galactic se mişcă tot atît de repede, atunci el se va dezagrega curînd. Un exemplu tipic de roi cu cîteva sute de galaxii se află în constelaţia Coma şi a fost studiat intens. Viteza medie a galaxiilor din Coma este mult prea mare pentru ca roiul să le menţină împreună, dacă nu este cel puţin de trei sute de ori mai multă masă prezentă acolo decît o sugerează materia luminoasă. Deoarece o galaxie tipică are nevoie de numai aproximativ un miliard de ani pentru a traversa roiul Coma, înseamnă că roiul a avut pînă acum destul timp pentru a se dispersa. Totuşi acest lucru nu s-a întîmplat încă, iar structura roiului dă puternic impresia de a fi mărginit gravitaţional. În mod evident, o anumită formă de materie neluminoasă pare a fi prezentă acolo în cantităţi substanţiale şi influenţează mişcarea galaxiilor.

O altă sugerare a materiei nevăzute derivă şi din examinarea structurii la scară foarte mare a universului — felul în care roiurile şi superroiurile de galaxii se grupează. Aşa cum am explicat în capitolul 3, galaxiile sînt aşezate într-o manieră reminiscentă de spumă, strînse în fîşii sau împrăştiate în uriaşe straturi încercuind imense goluri. O asemenea structură îngrămădită şi spumoasă nu putea să se fi format în timpul scurs de la explozia iniţială, fără atracţia gravitaţională suplimentară a materiei neluminoase. Simulările pe calculator, făcute pînă la ora actuală, nu pot totuşi reproduce această structură spumoasă cu vreo formă simplă de materie neluminoasă şi s-ar putea ca ceva mult mai complicat să fie necesar.

Atenţia oamenilor de ştiinţă a fost focalizată de exotice particule subatomice în calitate de candidaţi pentru

materia întunecată, dar ar putea exista în mai multe forme convenţionale, cum ar fi mase de mărimea planetelor sau stele palide. Mulţimi de astfel de obiecte întunecate ar putea rătăci în spaţiul din jurul nostru fără ca noi să fim conştienţi de aceasta. Recent, astronomii au descoperit o tehnică ce ar putea determina existenţa corpurilor întunecate nemărginite gravitaţional faţă de cele vizibile. Tehnica foloseşte un rezultat al teoriei generale a relativităţii a lui Einstein cunoscut sub numele de *curbare gravitaţională.*

Ideea se bazează pe faptul că gravitaţia poate curba raze luminoase. Einstein a prevăzut că dacă o rază luminoasă de la o stea trece prin apropierea soarelui, ea va fi uşor curbată, de aceea poziţia aparentă a acelei stele pe cer va fi deplasată. Comparînd poziţia stelei cu şi fără soare în vecinătatea sa, prezicerea poate fi testată. Acest lucru a fost făcut pentru prima dată de astronomul britanic, Sir Arthur Eddington în 1919 şi a confirmat în mod strălucit teoria lui Einstein.

Şi lentilele curbează razele luminoase şi, ca rezultat, pot focaliza lumina pentru a forma o imagine. Dacă un corp masiv este suficient de simetric, el poate acţiona ca o lentilă şi focaliza lumina de la o sursă aflată la distanţă. Fig. 6.1 arată cum. Lumina de la o sursă *S* cade pe un corp sferic, iar gravitaţia corpului curbează lumina în jurul său, direcţionînd-o spre un punct focal aflat mai departe. Efectul de curbare este slab pentru majoritatea obiectelor, dar, la distanţe astronomice, chiar o curbare mică a razei luminoase va produce pînă la urmă o focalizare. Dacă acest corp se interpune între Pămînt şi sursa *S* aflată la distanţă, atunci efectul va fi o imagine strălucitoare a lui *S* sau, în cazuri excepţionale cînd direcţia de vedere este exactă, va apărea ca un cerc strălucitor de lumină, cunoscut ca inelul lui Einstein. Pentru corpurile cu forme mai complicate,

curbura va produce probabil mai multe imagini, nu una singură focalizată. Astronomii au descoperit un număr de curbări gravitaţionale la scară cosmologică: galaxii, într-o aliniere aproape perfectă între Pămînt şi quasarii îndepărtaţi, produc multe imagini ale acestor quasari şi, în unele cazuri, arce sau chiar inele întregi de lumină provenind de la quasari.

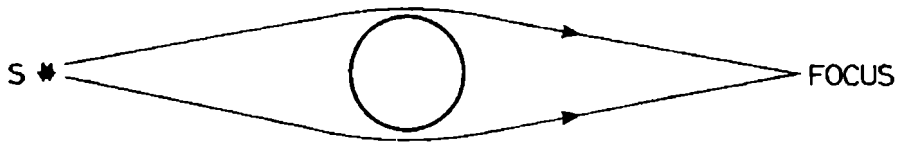


FIGURA 6.1 Curbura gravitaţională. Gravitaţia corpului masiv (strop) curbează razele luminoase provenind de la o sursă îndepărtată *S*. Într-un caz favorabil aceasta ar produce un efect de focalizare. Un observator aflat în focar ar vedea un inel de lumină în jurul corpului.

Pentru a repera planetele întunecate şi stelele pitice neluminoase, astronomii pot căuta semne edificatoare ale curbării ce s-ar produce dacă corpul întunecat în chestiune s-ar interpune exact între Pămînt şi o stea. Imaginea stelei şi-ar spori sau scădea strălucirea într-un mod distinctiv, după cum corpul se mişcă pe linia vizuală. Deşi corpul însuşi ar rămîne invizibil, prezenţa sa s-ar face simţită prin efectul de curbare. Unii astronomi folosesc această tehnică în căutarea obiectelor întunecate din haloul Căii Lactee. Deşi probabilitatea unei alinieri exacte cu o stea îndepărtată este incredibil de mică, dacă acolo se află destule obiecte întunecate, curbura gravitaţională ar trebui să fie observată. La sfîrşitul lui 1993, o echipă australiano-americană ce observa stele în Marele Nor al lui Magellan de la observatorul Mt. Stromlo a raportat ceea ce părea a fi primul exemplu clar de curbură gravitaţională datorată unei stele pitice din haloul galaxiei noastre.

Găurile negre se vor comporta, de asemenea, ca obiecte ce produc curbură gravitaţională şi s-au făcut cercetări intense, folosind radio surse extragalactice (undele radio sînt curbate în acelaşi fel ca undele luminoase). S-au găsit foarte puţini asemenea candidaţi, dînd impresia că găurile negre de masă stelară sau galactică nu ar conţine prea multă materie întunecată.

Nu toate găurile negre ar putea fi dezvăluite totuşi prin acest procedeu de curbare. Este posibil ca circumstanţele extreme ce prevalau la scurt timp după explozia iniţială să fi favorizat formarea găurilor negre microscopice, poate nu mai mari decît un nucleu atomic. Asemenea obiecte ar avea o masă echivalentă cu cea a unui asteroid. O mare cantitate de masă ar putea fi efectiv ascunsă în această formă şi împrăştiată peste tot în univers. În mod surprinzător, este posibil să plasăm limite de observare chiar asupra acestor entităţi bizare. Motivul priveşte ceea ce se cheamă efectul Hawking pe care-l voi explica mai clar în capitolul 7. Pe scurt, găurile negre microscopice par să explodeze în mijlocul unui duş de particule încărcate electric. Explozia are loc după un timp anumit ce depinde de mărimea găurii: găurile mai mici explodează mai repede. O gaură cu masa cît a unui asteroid va exploda după zece miliarde de ani, ceea ce înseamnă cam acum. Unul dintre efectele unei astfel de explozii ar fi crearea unei pulsaţii bruşte de unde radio, aşa cum au verificat radioastronomii. Nu s-au mai detectat astfel de pulsaţii şi s-a calculat că din această cauză nu mai poate avea loc mai mult de o explozie o dată la trei milioane de ani într-un spaţiu de un an lumină cub. Aceasta înseamnă că numai o mică fracţiune din masa universului are forma găurilor negre microscopice.

În general, estimările cantităţii de materie întunecată în univers variază de la un astronom la altul. Se pare că

materia întunecată o depăşeşte în greutate pe cea luminoasă de cel puţin zece ori şi uneori se citează cifre de o sută la unu. Este un gînd ciudat că astronomii nu ştiu din ce este formată cea mai mare parte a universului. Stelele, care pînă nu demult au fost presupuse că alcătuiesc majoritatea universului, se dovedesc a nu reprezenta decît un mic procent din total.

Pentru cosmologie, chestiunea crucială este dacă există suficientă materie pentru a opri expansiunea universului. Densitatea minimă a materiei şi care nu reuşeşte să oprească expansiunea exact la limită se numeşte „densitate critică". Valoarea sa poate fi aproximată la de o sută de ori densitatea materiei vizibile. O asemenea cantitate rămîne posibilă pe hîrtie, deşi poate doar atît. Se speră că cercetarea materiei întunecate ne va furniza în curînd un răspuns clar, afirmativ sau negativ, pentru că de el atîrnă nici mai mult, nici mai puţin decît soarta universului.

La actualul stadiu de cunoaştere, nu putem spune dacă universul se va extinde mereu sau nu. Dacă el va începe în cele din urmă să se contracte, întrebarea ce se pune este cînd se va produce aceasta. Răspunsul depinde în mod sigur de cît de mult depăşeşte greutatea universului greutatea critică. Dacă o depăşeşte doar cu un procent, universul va începe să se contracte peste aproximativ un milion de ani; dacă o depăşeşte cu zece procente, contracţia va începe peste 100 miliarde de ani.

Între timp, unii teoreticieni cred că ar fi posibil să stabilească greutatea universului doar prin calcul, fără a fi necesare observaţii directe dificile. Credinţa că fiinţa umană ar putea să aibă profunde cunoştinţe cosmologice pur şi simplu prin puterea raţionamentului urmează tradiţia provenind de la filozofii Greciei antice. În era ştiinţei, un număr de cosmologi a încercat

să formuleze scheme matematice care ar prezenta masa universului ca o cantitate fixată ca valoare printr-un set de principii. Sînt mai ales înşelătoare sistemele în care numărul exact de particule din univers este determinat în termenii unei formule numerice. Astfel de reflecţii nefondate n-a convins pe majoritatea oamenilor de ştiinţă, oricît de fascinante ar fi. În anii din urmă totuşi, a devenit populară o teorie mai convingătoare care face o predicţie clară despre masa universului. Acesta este scenariul inflaţionist discutat în capitolul 3. Una din prezicerile teoriei inflaţioniste priveşte cantitatea de materie din univers. Să presupunem că universul a început cu o densitate a materiei mult mai mare sau cu una mai mică decît valoarea critică-limită la care colapsarea nu poate avea loc. Cînd universul îşi ia startul, densitatea se modifică în mod spectaculos şi teoria prezice că el se apropie foarte curînd de densitatea critică. Pe măsură ce are loc inflaţia universului, densitatea se apropie de cea critică. În versiunea standard a teoriei, inflaţia durează foarte puţin; astfel, dacă nu cumva, ca prin miracol, universul a început chiar cu densitatea critică, el va ieşi din faza inflaţionistă cu o densitate ceva mai mare sau ceva mai mică decît cea critică.

Totuşi, apropierea de densitatea critică se produce în timpul fazei inflaţioniste cu o viteză exponenţială mare, astfel încît valoarea finală a densităţii ajunge probabil foarte aproape de valoarea critică, chiar pentru perioade inflaţioniste ce durează doar o mică fracţiune de secundă. Înţelesul lui „exponenţial" este aici acela că pentru aproximativ fiecare clipă în plus în care inflaţia persistă, timpul ce se va scurge între explozia iniţială şi începerea contracţiei se *dublează*. Astfel dacă, spre exemplu, 100 clipe de inflaţie fac ca universul să se contracte după 100 miliarde de ani, atunci 101 clipe fac ca

această contracţie să aibă loc după 200 miliarde de ani, în timp ce 110 clipe de inflaţie o implică după 28 bilioane de ani. Şi aşa mai departe. Cît a durat inflaţia? Nimeni nu ştie, dar, pentru ca teoria să explice cu succes tot puzzle-ul cosmologic pe care l-am descris, ea trebuie să dureze măcar un minim de clipe (cam 100; cifra este elastică). Oricum, nu există o limită superioară. Aşa că, dacă nu cumva printr-o extraordinară coincidenţă, universul s-ar fi extins numai minimum necesar pentru a explica observaţiile noastre curente, atunci densitatea după inflaţie ar putea avea tot o valoare aflată sub sau deasupra celei critice, caz în care observaţiile ce vor veni ar trebui să poată detecta epoca de contracţie sau faptul că nu va avea loc o contracţie. Mult mai plauzibil este faptul că inflaţia a continuat mult mai multe clipe decît minimul, rezultînd o densitate foarte apropiată de valoarea critică. Aceasta înseamnă că dacă universul va începe să se contracte, asta se va întîmpla numai după o perioadă de timp care să reprezinte de mai multe ori vîrsta actuală a universului. În acest caz, fiinţele umane nu vor putea *niciodată să cunoască* soarta universului pe care-l locuiesc.

Pentru totdeauna reprezintă un timp îndelungat

Un lucru foarte important despre infinit este că el nu reprezintă numai un număr foarte mare. Infinitul este calitativ diferit de ceva care este doar uimitor, inimaginabil de mare, dar finit. Să presupunem că universul nu ar avea sfîrşit. Pentru ca el să dureze de-a lungul eternităţii ar trebui ca el să aibă o viaţă infinită. Aşa stînd lucrurile, *orice* proces fizic, oricît de încet sau improbabil, *ar trebui* să se producă totuşi odată şi odată, aşa cum o maimuţă care bate mereu la maşină ar ajunge să dactilografieze în cele din urmă operele lui William Shakespeare.

Un exemplu bun este furnizat de fenomenul emisiei undelor gravitaţionale de care am vorbit în capitolul 5. Numai în cazul celor mai violente procese astronomice, energia pierdută prin radiaţia gravitaţională produce schimbări remarcabile. Emisia de aproximativ un miliwatt cauzată de rotaţia Pămîntului în jurul soarelui are un efect infinitezimal asupra mişcării Pămîntului. Totuşi, chiar o putere de doar un miliwatt, extinsă peste bilioane şi bilioane de ani, ar putea determina pînă la urmă Pămîntul să se îndrepte pe o traiectorie spiralată în soare. Bineînţeles, este probabil să fim înghiţiţi de soare cu mult timp înainte de aceasta, dar ideea este că

procesele care sînt neglijabil de încete la o scară a timpului omenesc sînt totuşi persistente, putînd în cele din urmă să devină predominante şi să determine astfel soarta finală a sistemelor fizice.

Să ne imaginăm starea universului după o foarte, foarte lungă perioadă în viitor, să spunem după un bilion de bilioane de ani. Stelele vor fi ars de mult; universul este întunecat. Dar nu este gol. Printre imensele genuni negre ale spaţiului se strecoară găuri negre rotitoare, rătăcesc stele neutronice şi pitice negre — chiar cîteva corpuri planetare. În această epocă densitatea unor astfel de obiecte este extrem de mică, universul s-a mărit de zece mii de bilioane de ori faţă de dimensiunea actuală.

Gravitaţia ar da o bătălie ciudată. Universul în expansiune încearcă să împingă fiecare obiect cît mai departe de vecinii săi, în timp ce atracţia gravitaţională mutuală se opune şi încearcă să adune corpurile la un loc. Ca rezultat, unele grupări de corpuri — de exemplu, roiurile de galaxii, sau ce trece drept galaxii după epoci de degenerare structurală — rămîn legate gravitaţional, dar aceste aglomerări se îndepărtează şi mai mult de cele vecine. Sfîrşitul acestei lupte decisive depinde de cît de repede descreşte viteza de expansiune a universului. Cu cît densitatea materiei în univers este mai mică, cu atît mai „încurajate" sînt aceste grupări de obiecte să se degaje de vecinii lor şi să se mişte liber şi independent.

În interiorul unui sistem cu legături gravitaţionale, îşi exercită dominaţia lentele dar inexorabilele procese de gravitaţie. Emisia undei gravitaţionale, oricît de slabă ar fi, macină mereu energia sistemului, determinînd o spirală înceată a morţii. Treptat, stelele moarte se tîrăsc către alte stele moarte sau găuri negre, contopindu-se într-un proces extins de canibalism, o adevărată orgie.

Sînt necesari un bilion de bilioane de ani pentru ca undele gravitaţionale să degenereze complet orbita soarelui — o cenuşă de pitică neagră alunecînd uşor către centrul galactic unde o gaură neagră gigantică aşteaptă să o înghită.

Totuşi nu este în nici un caz sigur că soarele mort îşi va afla sfîrşitul în acest fel, pentru că dacă se scufundă încet spre interior, va întîlni eventual alte stele. Uneori va trece prin apropierea unui sistem binar — o pereche de stele închise într-o înlănţuire gravitaţională. Acest lucru este propice pentru un fenomen ciudat numit praştie gravitaţională. Mişcarea a *două* corpuri pe orbită unul faţă de altul se desfăşoară cu o clasică simplitate. Această problemă — sub forma mişcării unei planete în jurul soarelui — i-a preocupat pe Kepler şi Newton şi a condus la naşterea ştiinţei moderne. Într-o situaţie idealizată şi ignorînd radiaţia gravitaţională, mişcarea planetei este regulată şi periodică. Oricît timp ar trece, planeta evoluează pe orbită în acelasi mod. Situaţia este total diferită totuşi, dacă este prezent şi un al treilea corp — să spunem o stea şi două planete — sau trei stele. Mişcarea nu mai este nici simplă, nici periodică. Modelul forţelor mutuale dintre cele trei corpuri se schimbă mereu într-un fel complicat. Ca rezultat, energia sistemului nu este împărţită în mod egal între participanţi, chiar dacă sînt corpuri identice. În loc de aceasta, are loc un dans complicat în care întîi un corp, apoi altul capătă „partea leului" din energie. De-a lungul a mari perioade de timp comportarea sistemului poate fi în esenţă întîmplătoare: de fapt, problema de dinamică gravitaţională a celor trei corpuri este un exemplu bun a ceea ce numim un sistem haotic. Se poate întîmpla ca două din corpuri să se „coalizeze", cedînd atît de mult din energia lor celui de-al treilea, încît acesta este împins direct în afara sistemului ca un

proiectil dintr-o praştie. De aici termenul de „praştie gravitaţională."

Mecanismul de praştie poate arunca stele din roiuri sau chiar din galaxia însăşi. În viitorul îndepărtat, marea majoritate a stelelor moarte, a planetelor sau găurilor negre va fi aruncată astfel în spaţiul intergalactic, poate pentru a întîlni alte galaxii ce se dezintegrează sau pentru a hoinări pentru totdeauna prin vastul spaţiu gol în extindere. Totuşi procesul este lent: va fi necesar un timp ce reprezintă de un miliard de ori vîrsta actuală a universului pentru ca el să se desăvîrşească. Cele cîteva procente de obiecte rămase vor migra, prin contrast, către centrele galaxiilor şi vor fuziona pentru a forma imense găuri negre.

Aşa cum am explicat în capitolul 5, astronomii au deja suficiente dovezi despre existenţa unor astfel de găuri negre monstruoase în centrele unor galaxii, care devorează nesăţios vîrtejurile de gaze, eliberînd prin urmare mari cantităţi de energie. Majoritatea galaxiilor va deveni în timp hrana nebunească a acestora şi totul va continua pînă cînd întregul material din jurul găurii negre va fi fie înghiţit, fie eventual aruncat pentru a cădea în cele din urmă din nou înapoi sau a se alătura gazelor intergalactice. Atunci umflatele găuri negre se vor linişti, scufundîndu-se în ele doar din cînd în cînd cîte o stea neutronică rătăcitoare sau o mică gaură neagră. Şi totuşi acesta nu va fi sfîrşitul poveştii găurilor negre. În 1974, Stephen Hawking a descoperit că găurile negre nu sînt chiar complet negre. Ele emit o slabă scînteiere de radiaţie termică.

Efectul Hawking poate fi înţeles corect numai cu ajutorul teoriei cîmpurilor cuantice, o ramură dificilă a fizicii, la care ne-am referit deja în legătură cu teoria inflaţionistă a universului. Să ne reamintim că un punct important al teoriei cuantice este principiul incertitu-

dinii al lui Heisenberg, conform căruia particulele cuantice nu au valori bine definite pentru toate caracteristicile lor. De exemplu, un foton sau un electron nu pot avea o valoare definită pentru energie la un moment dat. Ca urmare, o particulă subatomică poate „împrumuta" energie atît timp cît o dă înapoi cu promptitudine.

Aşa cum am arătat în capitolul 3, incertitudinea energiei conduce la unele efecte ciudate, cum ar fi prezenţa trecătoare în spaţii în aparenţă goale a unor particule virtuale sau cu viaţă scurtă. Aceasta duce la conceptul straniu de „vid cuantic" care, departe de a fi gol sau inert, clocoteşte de o neobosită activitate a particulelor virtuale. Deşi această activitate se desfăşoară de obicei neobservată, ea poate produce efecte fizice. Un astfel de efect are loc cînd activitatea în vid este perturbată de prezenţa unui cîmp gravitaţional. Un caz extrem priveşte particulele virtuale care apar lîngă orizontul de evenimente al unei găuri negre. Să ne amintim că particulele virtuale trăiesc pentru foarte scurt timp din energia împrumutată, după care aceasta trebuie „dată înapoi", particulele fiind obligate să dispară. Dacă pentru un motiv oarecare particulele virtuale primesc o cantitate suficient de mare de energie provenită de la vreo sursă externă în timpul scurtei lor vieţi, împrumutul poate fi achitat pe seama lor. Atunci nu mai există nici o obligaţie pentru particule să dispară, ca să-şi plătească astfel împrumutul. Ca urmare, particulele virtuale se transformă în particule reale, beneficiind de o existenţă mai mult sau mai puţin permanentă.

Conform lui Hawking, ceea ce se petrece lîngă gaura neagră este o astfel de reglare de conturi. În acest caz, „binefăcătorul" care furnizează energia cerută este cîmpul gravitaţional al găurii negre. Iată cum se petrec lucrurile. Particulele virtuale se creează de obicei în

perechi care se mişcă în direcţii opuse. Imaginaţi-vă o astfel de pereche de particule abia apărute chiar în vecinătatea exterioară a orizontului de evenimente. Presupuneţi că mişcarea particulelor este astfel încît una din ele vede prin orizontul de evenimente în gaură. Pe măsură ce înaintează, ea va capta o mare cantitate de energie din gravitaţia intensă a găurii. Această energie, a descoperit Hawking, este suficientă pentru a „achita împrumutul", astfel încît ambele particule — atît cea din gaură, cît şi perechea ei — să devină reale. Soarta particulei din exteriorul orizontului este nesigură. Şi ea poate, în cele din urmă, să fie înghiţită de gaură sau să se îndepărteze repede de ea, scăpînd definitiv. Hawking prezice că ar trebui să existe un puternic flux de astfel de particule răspîndindu-se, din vecinătatea găurii, în spaţiu şi constituind ceea ce este cunoscut sub numele de radiaţie Hawking.

Efectul Hawking ar fi mai puternic pentru găurile negre microscopice. Întrucît un electron virtual, de exemplu, poate călători cel mult cu 10^{-11} cm în condiţii normale înainte ca împrumutul să fie retractat, numai găurile negre mai mici decît aceasta (de dimensiuni nucleare) vor fi de fapt capabile să creeze un flux de electroni. Dacă gaura este mai mare, majoritatea electronilor virtuali nu va avea timpul necesar pentru a trece prin orizontul de evenimente înainte ca împrumutul să trebuiască restituit.

Distanţa pe care o poate parcurge o particulă virtuală depinde de durata ei de viaţă care, la rîndul ei, depinde — prin principiul incertitudinii al lui Heisenberg — de mărimea împrumutului de energie. Cu cît este mai mare împrumutul, cu atît mai scurtă va fi viaţa particulei. O componentă majoră a împrumutului de energie este energia masei de repaus a particulei. În cazul unui electron, împrumutul trebuie să fie cel puţin

egal cu energia masei lui de repaus. Pentru o particulă cu o masă de repaus mai mare, de exemplu un proton, împrumutul ar fi mai mare şi deci de mai scurtă durată, aşa că distanţa parcursă ar fi mai mică. De aceea, producerea de protoni prin efectul Hawking necesită o gaură neagră de dimensiuni chiar mai mici decît cele nucleare. Invers, particulele cu o masă de repaus mai mică decît a electronului, de exemplu neutrinii, ar fi create de o gaură neagră de dimensiuni mai mari ca nucleul. Fotonii, care au masa de repaus zero, vor fi creaţi de o gaură neagră de orice dimensiune. Chiar şi o gaură neagră de masă egală cu a soarelui va avea un flux Hawking de fotoni şi poate chiar de neutrini; totuşi, în acest caz, intensitatea fluxului este foarte slabă.

Folosirea cuvîntului slab aici nu este exagerată. Hawking a găsit că spectrul energiei produse de o gaură neagră este acelaşi cu al celei radiate de un corp fierbinte, astfel încît unul din modurile în care se poate exprima puterea efectului Hawking este în termeni de temperatură. Pentru o gaură de dimensiune nucleară (10^{-13} cm) în diametru, temperatura este foarte înaltă — aproximativ zece miliarde de grade. Prin contrast, pentru o gaură neagră cu masa cît o masă solară, ceea ce înseamnă peste un kilometru ca diametru, temperatura depăşeşte pe zero absolut cu mai puţin de-a zecea milioana parte dintr-un grad. Întregul obiect ar emite o radiaţie Hawking nu mai intensă decît o miliardime de miliardime de miliardime dintr-un watt.

Una din curiozităţile efectului Hawking este că temperatura radiaţiei creşte în timp ce masa şi dimensiunea găurii negre scad. Aceasta înseamnă că găurile negre mici sînt mai fierbinţi decît cele mari. Cînd o gaură neagră emite radiaţii, ea pierde energie şi masă, deci se contractă. Ca rezultat ea se încălzeşte şi radiază mai

puternic şi de aceea se contractă din ce în ce mai repede. Procesul este în mod inerent instabil şi chiar dispare în cele din urmă, cu gaura neagră emiţînd energie şi contractîndu-se în dimensiune din ce în ce mai repede.

Efectul Hawking prezice că în final toate găurile negre vor dispărea într-un suflu de radiaţie. Momentele finale ar fi spectaculoase, părînd o detonare a unei uriaşe bombe nucleare, o scurtă străfulgerare de energie calorică intensă, urmată de — nimic. Cel puţin aşa sugerează teoria. Dar unii fizicieni sînt nefericiţi că un obiect material poate colapsa pentru a forma o gaură neagră, care la rîndul său dispare, lăsînd doar o radiaţie termică. Ei sînt îngrijoraţi că două obiecte foarte diferite ar putea produce pînă la urmă radiaţii termice identice, care n-ar da nici o informaţie despre corpul originar. O astfel de dispariţie violează tot felul de legi de conservare la care se ţinea foarte mult. O propunere alternativă este că gaura ce dispare lasă în urmă ei o mică rămăşiţă care conţine totuşi mari cantităţi de informaţie. Oricum, covîrşitoarea fracţiune din masa găurii este radiată în spaţiu sub formă de căldură şi lumină.

Procesul Hawking este aproape de neconceput de încet. Unei găuri negre de masă solară i-ar fi necesari 10^{66} ani pentru a dispărea, în timp ce una supermasivă ar dispărea în 10^{93} ani. Dar procesul nu s-ar opri pînă cînd temperatura ambiantă a universului nu ar scădea sub cea a găurii negre, altfel căldura ce pătrunde în gaură dinspre universul înconjurător depăşeşte pe cea care iese din ea prin efectul Hawking. Radiaţia cosmică termică de fond păstrată de la explozia iniţială este în mod curent la o temperatură de aproximativ trei grade peste zero absolut şi ar fi necesari 10^{22} ani pentru ca aceasta să se răcească pînă la nivelul la care ar fi o pierdere netă de căldură de la găuri negre de masă solară. Procesul Hawking nu este ceva uşor de urmărit.

Dar pentru totdeauna reprezintă un timp îndelungat şi pînă la urmă toate găurile negre vor dispărea probabil — chiar şi cele supermasive —, chinurile morţii lor fiind doar scăpărări trecătoare de lumină în întunecimea de cerneală a eternei nopţi cosmice, un epitaf pentru existenţa strălucirii trecute a miliarde de sori.

Ce a mai rămas?

Nu întreaga materie cade în găurile negre. Trebuie să ne gîndim la stelele neutronice, la piticele negre şi la planetele solitare ce rătăcesc singure în vastele spaţii intergalactice, pentru a nu mai menţiona puţinul gaz şi praf care nu s-au unit niciodată pentru a forma stele, precum şi asteroizii, cometele, meteoriţii şi bolovanii disparaţi de piatră ce se învălmăşesc în sistemele stelare. Oare aceste lucruri supravieţuiesc pe veci?

Aici ne lovim de dificultăţi teoretice. Trebuie să ştim dacă materia obişnuită — din care sîntem alcătuiţi tu, eu şi Pămîntul — este absolut stabilă. Cheia viitorului îndepărtat rezidă în mecanica cuantică. Deşi procesele cuantice sînt în mod normal asociate cu sistemele atomice şi subatomice, legile fizicii cuantice ar trebui să se aplice la orice, incluzînd corpurile macroscopice. Efectele cuantice sînt în obiectele mari foarte slabe, dar de-a lungul a mari perioade de timp ele ar putea aduce schimbări majore.

Trăsăturile marcante ale fizicii cuantice sînt incertitudinea şi probabilitatea. În domeniul cuantic nimic nu este cert, cu excepţia pariurilor de probabilitate. Aceasta înseamnă că dacă un proces este totuşi posibil, avînd destul timp la dispoziţie, el se va produce în final, oricît de improbabil ar fi. Putem observa cum lucrează această regulă în cazul radioactivităţii. Un nucleu de uraniu 238 este aproape complet stabil. Există totuşi o minimă şansă ca el să elimine o par-

ticulă alfa pentru a se transforma în toriu. Mai exact, există o foarte mică probabilitate pe unitatea de timp pentru ca un anumit nucleu de uraniu să se dezintegreze. În medie este nevoie de aproximativ patru miliarde şi jumătate de ani pentru ca acest lucru să se producă, dar întrucît legile fizice cer o probabilitate fixă pe unitatea de timp, *orice* nucleu de uraniu se va dezintegra în cele din urmă.

Dezintegrarea radioactivă alfa are loc deoarece există o mică incertitudine în aşezarea protonilor şi neutronilor care formează atomul de uraniu. În mod asemănător, există o şi mai mică incertitudine în poziţia precisă a unui atom într-un solid (dar nu chiar zero). De exemplu, un atom de carbon într-un diamant va sta într-un loc foarte bine definit din cristal, iar la temperaturile apropiate de zero aşteptate în viitorul universului, acest lăcaş va fi foarte stabil. Dar nu complet stabil. Există întotdeauna o *mică* incertitudine în poziţia atomului, ceea ce implică o mică probabilitate ca atomul să poată sări în mod spontan de la locul său din reţeaua cristalină şi să apară în altă parte. Din cauza unor astfel de procese de migraţie nimic — nici chiar o substanţă atît de tare ca diamantul — nu este cu adevărat solid. În loc de aceasta, materia aparent solidă este ca un lichid foarte vîscos şi de-a lungul unor imense perioade de timp poate să curgă datorită efectelor mecanicii cuantice. Fizicianul Freeman Dyson a estimat că după aproximativ 10^{65} ani nu numai că fiecare diamant tăiat cu grijă va fi redus la o mărgea sferică, dar fiecare bolovan de rocă va deveni în mod asemănător o minge netedă.

Incertitudinea de poziţii va putea conduce chiar şi la transformări nucleare. De exemplu, să luăm în considerare doi atomi vecini ai carbonului în cristalul de diamant. Foarte rar, reaşezarea spontană a unui astfel de

atom va determina nucleul să apară momentan chiar în apropierea nucleului vecinului său. Forţa de atracţie nucleară ar putea face ca cele două nuclee să fuzioneze pentru a forma un nucleu de magneziu. Astfel, fuziunea nucleară nu cere temperaturi foarte înalte; fuziunea la rece *este* posibilă, dar cere extrem de mult timp. Dyson a estimat că după 10^{1500} ani (acesta înseamnă 1 urmat de 1 500 de zerouri!) toată materia se va transforma astfel în cea mai stabilă formă nucleară, care este elementul fier.

Totuşi ar fi posibil ca materia nucleară să nu supravieţuiască atît de mult, datorită unor procese de transmutaţie mai rapide, dar încă incredibil de încete. Estimările lui Dyson presupun că protonii (şi neutronii legaţi în nuclee) sînt *absolut* stabili. Cu alte cuvinte, dacă un proton nu cade într-o gaură neagră şi este lăsat netulburat, el va dura veşnic. Dar putem fi siguri că aşa este? Cînd eram student, nimeni nu se îndoia de aceasta. Protonii existau pentru totdeauna. Ei erau presupuşi a fi particule *complet* stabile. Dar mereu au existat o îndoială, o dispută cu privire la aceasta. Problema priveşte existenţa unei particule numite pozitron, care este identică cu electronul exceptînd faptul că posedă o sarcină ca şi protonul. Pozitronii sînt mult mai uşori decît protonii, deci orice altceva fiind egal cu protonii ar prefera să se transforme în pozitroni. (Există un principiu important al fizicii ce arată că sistemele fizice îşi caută starea de minimă energie, iar masă scăzută înseamnă energie scăzută.) Acum nimeni nu ar putea spune de ce protonii nu continuă pur şi simplu să facă acest lucru, astfel încît fizicienii cred că este vorba de o lege a naturii care le interzice aceasta. Pînă nu demult, subiectul nu a fost deloc bine înţeles, dar la sfîrşitul anilor '70 a apărut o imagine mai clară despre felul în care aceste forţe

nucleare împing particulele să se transforme una în alta conform mecanicii cuantice. Ultimele teorii acordă importanţa cuvenită legii ce interzice descompunerea protonului, dar multe teorii spun că această lege nu este efectivă sută la sută. S-ar putea să existe o *foarte* mică probabilitate ca un proton dat să se transforme într-adevăr într-un pozitron. Masa rămasă se presupune că va reapărea în parte sub forma unei particule neutre din punct de vedere electric — cum ar fi aşa-numitul pion — şi în parte sub forma energiei de mişcare (produsele de descompunere ar fi create mişcîndu-se la viteză mare).

Într-unul din cele mai simple modele teoretice, timpul mediu necesar unui proton pentru a se descompune este de 10^{28} ani, care reprezintă de un miliard de miliarde de ori vîrsta actuală a universului. De aceea trebuie să ne imaginăm că subiectul descompunerii protonului ar rămîne o pură curiozitate ştiinţifică. Totuşi trebuie amintit că acest proces aparţine mecanicii cuantice şi de aceea este inerent în natură din punct de vedere probabilistic: 10^{28} ani este perioada *medie* prezisă de viaţă a unui proton, iar nu cea *reală*. Dintr-un număr suficient de protoni, există o şansă suficientă ca unul să se dezintegreze chiar sub ochii noştri. În fapt, la 10^{28} protoni, ne putem aştepta la aproximativ o dezintegrare pe an, iar 10^{28} protoni se găsesc în doar zece kilograme de materie.

Aşa cum se întîmplă, o viaţă de proton de o asemenea durată fusese deja înlăturată prin experiment înainte ca teoria să devină populară. Totuşi diferitele versiuni ale teoriei dădeau perioade mai lungi: 10^{30} sau 10^{32} ani sau chiar mai mult (unele teorii prezic chiar 10^{80} ani). Cele mai mici valori sînt la marginea posibilităţii de testare experimentală. Un timp de dezintegrare de 10^{32} ani ar însemna, de exemplu, că am putea

pierde în cursul întregii vieţi unul sau doi protoni din corpul nostru. Dar cum să detectăm asemenea evenimente rare?

Tehnica adoptată a fost de a aduna mii de tone de materie şi de a supraveghea timp de mai multe luni cu detectoare sensibile, reglate pentru a fi declanşate de produsele de dezintegrare a unui proton. Din păcate, cercetarea procesului de dezintegrare a protonului este de tipul acului în carul cu fîn pentru că astfel de dezintegrări sînt mascate de un număr mult mai mare de evenimente similare cauzate de producerea radiaţiei cosmice. Pămîntul este permanent bombardat din spaţiu de particule de înaltă energie, ceea ce produce un fundal omniprezent de dezintegrări subatomice. Pentru a reduce această interferenţă, trebuie ca experimentările să aibă loc adînc sub Pămînt.

Un astfel de experiment a avut loc la mai mult de o jumătate de milă adîncime sub Pămînt, într-o mină de sare de lîngă Cleveland, Ohio. Aparatul consta din 10 000 tone de apă ultrapură, aflată într-o cisternă cubică întonjurată de detectoare. Apa a fost aleasă datorită transparenţei sale, permiţînd detectorului „să vadă" deodată oricît de mulţi protoni ar fi posibil. Ideea a fost următoarea. Dacă un proton se dezintegrează în maniera prezisă de aceste teorii la modă, o dată cu producerea pozitronului are loc apariţia unei particule numite pion neutru din punct de vedere electric. Pionul, la rîndul său, se dezintegrează rapid, de obicei în doi fotoni de energie foarte înaltă sau radiaţii gama. În final, aceste raze gama întîlnesc nuclee în apă şi creează o pereche electron şi pozitron, de asemenea cu energie foarte înaltă. De fapt, aceşti electroni şi pozitroni secundari ar fi atît de plini de energie încît ar călători cu viteze apropiate de viteza luminii, chiar în apă.

Lumina călătoreşte cu 300 000 kilometri pe secundă în vid şi aceasta este viteza limită cu care poate călători *orice* particulă. Efectul apei este de a încetini oarecum viteza luminii, reducînd-o la aproximativ 230 000 kilometri pe secundă. De aceea o particulă subatomică de viteză mare, care se mişcă prin apă cu aproape 300 000 kilometri pe secundă, de fapt călătoreşte mai repede decît o face lumina *prin apă*. Cînd o navă spaţială călătoreşte mai repede decît sunetul, ea creează o explozie sonoră. În mod similar, o particulă încărcată ce călătoreşte printr-un mediu mai repede decît lumina creează o anume undă electromagnetică de şoc, cunoscută ca radiaţie Cerenkov, după numele descoperitorului ei rus. Astfel, experimentatorii din Ohio au pus la punct o grupare de detectoare sensibile la lumină pentru a căuta scînteierile Cerenkov. Pentru a deosebi procesele de dezintegrare a protonului de neutrinii razelor cosmice şi de alte false rămăşiţe subatomice, cercetătorii au căutat în special perechi spate-în-spate de impulsuri luminoase tip Cerenkov — o semnătură distinctivă — şi care ar fi emise de perechile cu mişcări opuse, electron-pozitron.

Din păcate, după mai mulţi ani de lucru, experimentul tot n-a reuşit să găsească vreo dovadă convingătoare despre dezintegrarea protonului, deşi, aşa cum am arătat în capitolul 4, a obţinut neutrino-ul din Supernova 1987 A. (Ca adesea în ştiinţă, a căuta ceva conduce la a descoperi altceva.) Alte experimente, folosind alte planuri, nu au condus nici ele pînă în momentul de faţă la vreun rezultat. Aceasta poate însemna că protonii nu se dezintegrează. Pe de altă parte, ar putea însemna că ei totuşi se dezintegrează, dar viaţa lor este mai lungă decît 10^{32} ani. A măsura o viteză de dezintegrare mai înceată decît aceasta este dincolo de posibilităţile experimentale curente, astfel încît pro-

babil problema dezintegrării protonului va rămîne de soluţionat în viitorul previzibil.

Cercetarea privind dezintegrarea protonului a fost stimulată de munca teoretică asupra marilor teorii unificate, ce-şi propuneau drept scop unificarea forţei nucleare puternice (forţa care ţine protonii şi neutronii împreună în nuclee) cu forţa nucleară slabă responsabilă pentru radioactivitatea beta şi cu forţa electromagnetică. Dezintegrarea protonului s-ar produce datorită interferenţei scurte a acestor forţe. Dar chiar dacă această idee a marii unificări se dovedeşte a figreşită, rămîne posibilitatea ca protonii să se dezintegreze pe altă cale care ar implica a patra forţă fundamentală a naturii — gravitaţia.

Pentru a vedea modul în care gravitaţia poate cauza dezintegrarea protonului, este necesar să luăm în considerare faptul că protonul nu este chiar o particulă elementară punctiformă. El este de fapt un corp compus din trei particule mai mici, numite particule quark. În cea mai mare parte a timpului, protonul are un diametru de aproximativ a zecea bilioana parte dintr-un centimetru, aceasta fiind distanţa medie dintre particulele quark. Totuşi particulele quark nu sînt în repaus, ci ele îşi schimbă permanent poziţiile în interiorul protonului, din cauza principiului incertitudinii din mecanica cuantică. Din cînd în cînd, două particule quark se vor apropia foarte mult una de alta. Încă şi mai rar, toate cele trei particule quark se vor găsi foarte aproape una de alta. Este posibil ca ele să ajungă *atît* de apropiate, încît forţa gravitaţională dintre ele, de obicei neglijabilă, să le depăşească pe toate celelalte. Dacă acest lucru se întîmplă, particulele quark se vor contopi pentru a forma o gaură minusculă. Ca urmare, protonul colapsează sub propria sa gravitaţie într-o

tunelare conform mecanicii cuantice. Minigaura rezultată este foarte instabilă datorită procesului Hawking şi dispare mai mult sau mai puţin instantaneu, creînd pozitronul. Estimările timpului necesar protonului pentru a se dezintegra pe această cale sînt foarte incerte, variind de la 10^{45} ani pînă la uimitoarea cifră de 10^{220} ani.

Dacă protonii se dezintegrează după o perioadă imensă, consecinţele asupra viitorului îndepărtat al universului sînt profunde. Toată materia ar fi instabilă şi în final ar dispărea. Obiectele solide, ca de exemplu planetele ce au evitat să cadă într-o gaură neagră, nu ar trăi veşnic. Ele ar dispărea treptat. Timpul de viaţă a unui proton, să spunem de 10^{32} ani, ar implica faptul că Pămîntul pierde un bilion de protoni pe secundă. În acest ritm, după vreo 10^{33} ani, planeta noastră ar dispărea efectiv, presupunînd că altceva nu ar fi distrus-o deja.

Nici stelele neutronice nu sînt imune faţă de acest proces. Neutronii sînt şi ei alcătuiţi din trei particule quark şi se pot transforma în particule mai uşoare, prin mecanisme similare cu cele ce atrag după sine moartea protonilor. (Neutronii izolaţi sînt în orice caz instabili şi se descompun în aproximativ 15 minute.) Stelele pitice albe, mici nori de gaz, rocile, praful, cometele şi toate celelalte obiecte astronomice vor sucomba şi ele în timp. În acest fel, cele 10^{48} tone de materie obişnuită pe care le observăm, ca fiind împrăştiate prin univers sînt toate destinate să dispară, fie în găuri negre, fie printr-un proces lent de dezintegrare nucleară.

Cu siguranţă, atunci cînd protonii şi neutronii se dezintegrează, ei creează produse de dezintegrare, astfel încît universul nu este lăsat în întregime fără materie de orice fel. De exemplu, aşa cum am menţionat deja, un proton se dezintegrează într-un pozitron, plus un pion

neutru. Pionul este foarte instabil şi repede se dezintegrează în doi fotoni sau poate într-o pereche electron-pozitron. Oricum ar fi, universul va achiziţiona treptat din ce în ce mai mulţi pozitroni, ca rezultat al dezintegrării protonului. Fizicienii cred că numărul total al particulelor încărcate pozitiv (în special protoni) aflate în univers este acelaşi cu cel al particulelor încărcate negativ (în special electroni). Aceasta implică faptul că, odată toţi protonii dezintegraţi, va exista o mixtură egală de electroni şi pozitroni. Dar pozitronul este aşa-numita antiparticulă a electronului şi dacă un pozitron întîlneşte un electron, ei se anulează reciproc — un proces care poate fi uşor studiat în laborator —, eliberînd energie sub formă de fotoni.

Au fost făcute calcule ce încearcă să determine dacă protonii şi electronii ce vor fi rămas în viitorul îndepărtat al universului se vor anihila complet unii pe alţii sau vor rămîne mereu uşoare urme din ei. Anihilarea nu se petrece în mod brusc. Astfel, un pozitron şi un electron mai întîi se aşază într-un fel de miniatom, numit pozitronium, cu ambele particule orbitînd în jurul centrului lor comun de masă, într-un dans al morţii, legaţi prin atracţia lor electrică mutuală. Apoi particulele spiralează împreună şi se anihilează. Timpul necesar mişcării în spirală depinde de distanţa iniţială între electron şi pozitron atunci cînd se formează pozitronul. În laborator dezintegrarea pozitronium-ului are loc într-o mică fracţiunea de secundă, dar în spaţiul exterior, cu puţine elemente perturbatoare, electronii şi pozitronii pot să fie legaţi împreună şi să parcurgă astfel orbite imense. Estimările sugerează că ar fi necesari 10^{71} ani pentru ca majoritatea electronilor şi pozitronilor să formeze pozitronium-ul, dar în cele mai multe cazuri orbitele lor ar avea diametre de multe

bilioane de ani lumină! Particulele s-ar mişca atît de încet, încît ar trebui un milion de ani pentru o deplasare de un centimetru. Atît de leneşi ar fi electronii şi pozitronii încît mişcarea în spirală ar avea uimitoarea durată de 10^{116} ani. Totuşi soarta finală a acestor atomi numiţi pozitronium este pecetluită chiar din momentul apariţiei lor.

În mod ciudat, nu toţi electronii şi pozitronii trebuie să se anihileze. În timp ce aceşti electroni şi pozitroni îşi caută opuşii, densitatea acestor particule scade neîncetat, atît ca rezultat al anihilării cît şi datorită expansiunii continue a universului. Pe măsură ce timpul trece, formarea pozitronium-ului devine din ce în ce mai grea. Astfel, deşi micile reziduuri de materie devin din ce în ce mai puţine, ele nu dispar niciodată complet. Va exista totdeauna undeva un electron sau un pozitron desperecheat, deşi fiecare astfel de particulă va fi din ce în ce mai solitară în cadrul volumului în creştere al spaţiului gol.

Acum putem să ne imaginăm cum va fi universul după ce toate aceste procese incredibil de lente se vor fi desfăşurat. Mai întîi, va fi materialul rămas după explozia iniţială, fundalul cosmic care a existat dintotdeauna. Acesta constă din fotoni, neutrini şi poate şi alte particule complet stabile pe care nu le cunoaştem încă. Energia acestor particule va scădea pe măsura expansiunii universului, pînă cînd vor forma un fundal total neglijabil. Materia obişnuită a universului va fi dispărută deja. Toate găurile negre vor fi dispărute şi ele. Cea mai mare parte a masei găurilor negre se va fi transformat în fotoni, deşi unele vor fi şi sub formă de neutrini şi o mică parte, emisă în timpul exploziei finale a găurilor, va fi sub formă de electroni, protoni, neutroni şi particule mai grele. Particulele mai grele se descompun rapid, iar neutronii şi protonii mai încet,

lăsînd cîţiva electroni şi pozitroni pentru a-i întîlni pe alţii care reprezintă ultimele rămăşiţe ale materiei obişnuite pe care o vedem astăzi.

Universul din viitorul foarte îndepărtat ar fi nemaipomenit de diluat, un amestec de fotoni, neutrini şi un număr de electroni şi pozitroni în scădere, toţi mişcîndu-se încet şi depărtîndu-se tot mai mult. Din cele ce cunoaştem, nu vor mai avea loc niciodată procese fizice de bază, nici un eveniment semnificativ nu se va mai desfăşura pentru a întrerupe sterilitatea mohorîtă a unui univers ce şi-a încheiat ciclul, dar încă înfruntă viaţa eternă — sau poate moartea eternă ar fi mai corect spus.

Această imagine tristă a nimicului întunecat, rece şi inform la care ajunge cosmologia modernă este cea mai apropiată de „moartea termică" dată de fizica secolului al XIX-lea. Timpul necesar universului pentru a degenera pînă la acest stadiu este atît de lung, încît depăşeşte imaginaţia omenească. Şi totuşi aceasta nu este decît o porţiune infinitezimală din timpul infinit disponibil. Dar, aşa cum am remarcat, pentru totdeauna înseamnă un timp îndelungat...

Deşi descompunerea universului are o durată atît de vastă în comparaţie cu scala de timp omenească, încît este efectiv lipsită de sens pentru noi, oamenii tot sînt nerăbdători să afle: „Ce se va întîmpla cu urmaşii noştri? Sînt ei inevitabil condamnaţi de un univers care încet, dar inexorabil, se va închide în jurul lor?" Datorită acestei stări de lucruri rău promiţătoare pe care ştiinţa o prevesteşte pentru viitorul îndepărtat al universului, se pare că orice formă de viaţă este în final condamnată. Dar moartea nu este atît de simplă.

CAPITOLUL 8

Viaţa în ritm lent

În 1972 o organizaţie numită Clubul de la Roma a publicat o prognoză sumbră cu privire la viitorul omenirii numită *The Limits to Growth* (*Limitele creşterii*). Printre numeroasele preziceri ale dezastrului iminent era şi aceea că lumea îşi va epuiza în cîteva decenii rezervele de combustibil fosil. Oamenii s-au alarmat, preţurile la benzină au urcat rapid şi căutarea altor alternative de energie a ajuns la modă. Iată-ne ajunşi după 1990, şi nu există încă nici un semn al combustibilului fosil pe cale de epuizare. Ca rezultat, alarma a fost înlocuită cu autolinistirea. Din păcate, o aritmetică simplă ne dictează faptul că o resursă finită nu poate continua la nesfîrşit să se golească cu o viteză finită constantă. Mai devreme sau mai tîrziu energia consumată ne va depăşi. O concluzie similară se poate trage şi pentru populaţia Pămîntului: nu poate continua să crească la nesfîrşit.

Unii ieremişti cred că în viitor criza energiei şi fenomenul suprapopulării vor distruge umanitatea o dată pentru totdeauna. Totuşi nu este necesar să facem o paralelă între dispariţia combustibilului şi dispariţia lui *homo sapiens*. Există uriaşe surse de energie în jurul nostru, numai să avem dorinţa şi ingeniozitatea de a le

utiliza. Este de remarcat faptul că soarele posedă energie mai mult decît suficientă pentru scopurile noastre. O problemă mai grea este stăvilirea creşterii populaţiei înainte ca înfometarea masivă s-o facă pentru noi. Acest lucru cere abilităţi sociale, economice şi politice, mai mult decît ştiinţifice. Totuşi *dacă* vom putea învinge pierderea de energie determinată de golirea rezervelor de combustibil fosil şi *dacă* vom putea stabiliza populaţia umană fără un conflict dezastruos şi *dacă* distrugerea ecologică a planetei sau cea produsă de lovirea de un asteroid, pot fi limitate, atunci cred că umanitatea va prospera. Nu există nici o lege evidentă a naturii care să limiteze longevitatea speciilor noastre.

În capitolele precedente, am descris cum de-a lungul unor intervale incomensurabile de timp, structura universului se va schimba, în general în direcţia degenerării lui, ca rezultat al unor procese fizice încete. Fiinţele omeneşti există pe aici de cel mult cinci milioane de ani (depinde de definiţia pe care o dăm omenescului), iar civilizaţia (într-un anume sens) abia de cîteva mii de ani. Pămîntul ar trebui să rămînă locuibil pentru încă două sau trei miliarde de ani de aici înainte — dar cu siguranţă cu o populaţie limitată. Este o perioadă de timp atît de îndelungată, încît depăşeşte imaginaţia. Pare atît de lungă încît se confundă cu infinitul. Totuşi noi am văzut deja cum chiar un miliard de ani este o foarte scurtă clipă comparată cu vasta scară a timpului necesar pentru schimbări cosmologice şi astronomice importante. Un habitat ca Pămîntul poate să mai existe undeva în galaxia noastră peste un *miliard* de miliarde de ani.

Ni-i putem fără îndoială imagina pe descendenţii noştri, în atît de mult timp avut la dispoziţie, dezvoltînd explorarea spaţiului şi tot felul de tehnologii

minunate. Ei vor avea destul timp să părăsească Pământul înainte ca soarele să-l ardă. Ei pot căuta o altă planetă convenabilă, şi apoi o alta, şi aşa mai departe. Extinzîndu-se în spaţiu, populaţia poate şi ea să crească. Oare ne poate reconforta să ştim că lupta noastră pentru supravieţuire în secolul al douăzecilea ar putea în cele din urmă să nu fie în zadar?

În capitolul 2 am descris modul în care Bertrand Russell, într-un moment de depresiune datorată consecinţelor celei de-a II-a legi a termodinamicii, a scris în termeni îngrijorători despre inutilitatea existenţei umane, dat fiind faptul că sistemul solar este condamnat. Russell a simţit cu siguranţă că aparent inevitabila distrugere a habitatului nostru face ca viaţa omenească să fie lipsită de sens, sau chiar ca o farsă. Această credinţă a contribuit în mod sigur la ateismul său. S-ar fi simţit oare Russell mai bine dacă ar fi ştiut că energia gravitaţională a găurilor negre ar putea depăşi performanţa soarelui de multe ori şi să dureze bilioane de ani după dezintegrarea sistemului solar? Probabil că nu. De fapt, nu durata de timp contează, ci ideea că, mai devreme sau mai tîrziu, universul va deveni de nelocuit: această idee îi face pe unii oameni să considere existenţa noastră drept lipsită de sens.

Din descrierea făcută la sfîrşitul capitolului 7 a viitorului îndepărtat al universului s-ar putea presupune că abia ne-am putea imagina un mediu mai puţin echilibrat şi mai ostil. Totuşi nu trebuie să fim şovini sau pesimişti. Fiinţele umane vor traversa, fără îndoială, o perioadă grea, fiind nevoite să trăiască într-un univers constînd dintr-un amalgam („ciorbă") diluat de electroni şi pozitroni, dar chestiunea importantă este în mod sigur nu dacă specia noastră ca atare este nemuritoare, ci dacă *descendenţii* pot să supravieţuiască. Şi este improbabil ca descendenţii noştri să fie fiinţe umane.

Speciile *homo sapiens* au apărut pe Pămînt ca produs al evoluţiei biologice. Dar procesele de evoluţie au fost rapid modificate de propriile noastre activităţi. Deja ne-am interferat cu procesul de selecţie naturală. Devin din ce în ce mai posibile mutaţiile induse genetic. În curînd vom putea fi capabili de a proiecta fiinţe umane cu trăsături şi caracteristici fizice stabilite prin manipularea genetică directă. Aceste înlesniri biotehnologice s-au produs în numai cîteva decenii de societate tehnologică. Imaginaţi-vă ce s-ar putea înfăptui în mii sau chiar milioane de ani de ştiinţă şi tehnologie.

În numai cîteva decenii, omenirea a fost capabilă să părăsească planeta, aventurîndu-se în spaţiul apropiat. De-a lungul epocilor, descendenţii noştri s-ar putea împrăştia dincolo de Pămînt, în largul sistemului solar, şi apoi către alte sisteme stelare din galaxie. Oamenii adesea au concepţia greşită că ar fi nevoie de o eternitate pentru ca aşa ceva să se întreprindă. Totuşi nu este aşa. Colonizarea ar începe probabil cu zborul spre alte planete: coloniştii ar părăsi Pămîntul pentru o planetă convenabilă aflată la o distanţă de cîţiva ani lumină şi dacă ei ar putea călători cu o viteză apropiată de cea a luminii, atunci călătoria ar dura doar cîţiva ani. Chiar dacă descendenţii noştri nu vor reuşi niciodată să atingă viteze mai mari de un procent din viteza luminii — o ţintă destul de modestă — atunci timpul de călătorie va fi de doar cîteva secole. Colonizarea reală a unei planete s-ar produce la rîndul ei în cîteva secole, timp în care descendenţii coloniştilor iniţiali s-ar putea gîndi să-şi mute expediţia pe o altă planetă convenabilă, aflată mai departe încă. După alte cîteva sute de ani şi această următoare planetă va fi colonizată şi aşa mai departe. Aceasta a fost maniera în care polinezienii au colonizat insulele din centrul Pacificului.

Lumina are nevoie de numai aproximativ o sută de mii de ani pentru a traversa galaxia, astfel încît la un

procent din această viteză, timpul total al călătoriei este de 10 milioane de ani. Dacă o sută de mii de planete sînt colonizate de-a lungul acestui drum şi fiecare colonie necesită două secole pentru a se stabili, acest lucru are doar efectul triplării timpului de colonizare a galaxiei. Dar 30 milioane de ani reprezintă un timp foarte scurt în raport cu standardele astronomice sau chiar geologice. Soarele are nevoie de aproximativ 200 milioane de ani pentru a-şi parcurge orbita galactică doar o dată, în vreme ce viaţa pe Pămînt a existat de un timp de cel puţin de şaptesprezece ori mai lung decît atît. Îmbătrînirea soarelui va deveni o ameninţare pentru Pămînt abia peste trei sau patru miliarde de ani — în 30 milioane de ani vor fi avut loc foarte puţine schimbări. Concluzia este că descendenţii noştri ar putea coloniza galaxia într-o mică fracţiune din timpul ce a fost necesar vieţii să evolueze pe Pămînt pînă la societatea tehnologică.

Cum vor fi oare aceşti descendenţi colonişti ai noştri? Dacă dăm frîu liber imaginaţiei, putem presupune că aceştia ar putea fi proiectaţi din punct de vedere genetic pentru a se adapta uşor la planeta vizată. Pentru a lua un exemplu simplu, dacă o planetă asemănătoare cu Pămîntul este descoperită în vecinătatea stelei Epsilon Eridani, dar avînd doar zece procente de oxigen în atmosferă, atunci coloniştii ar putea fi proiectaţi astfel încît să aibă mai multe globule roşii în sînge. Dacă gravitaţia la suprafaţa noii planete este mai mare, atunci ei ar putea fi înzestraţi cu o structură mai robustă şi oase mai puternice. Şi aşa mai departe.

Călătoria nu trebuie să prezinte probleme, nici dacă sînt necesare cîteva secole pentru a fi înfăptuită. Nava spaţială ar putea fi construită ca o arcă — un ecosistem complet, capabil să suporte călătoriile mai multor generaţii. Sau coloniştii ar putea fi congelaţi pe par-

cursul călătoriei. Într-adevăr, ar fi mai rezonabil să trimitem doar o mică navă cu puţin echipaj, pe a cărei încărcătură să se găsească şi milioane de ovule fertilizate şi congelate. Acestea ar putea fi incubate la sosire, dînd naştere unei populaţii instantanee fără probleme sociologice şi logistice ale transportului unui mare număr de fiinţe adulte de-a lungul unei îndelungate perioade de timp.

Din nou, speculînd ceea ce ar fi eventual posibil datorită imensei durate de timp, concluzionăm că nu există nici un motiv pentru care aceşti colonişti să fie umani în aspect sau chiar în mentalitate. Dacă fiinţele pot fi proiectate pentru a face faţă unor nevoi variate, atunci fiecare expediţie ar avea entităţile sale proprii, corespunzătoare scopului ei, cu anatomia şi psihologia necesare sarcinii ce o au de îndeplinit.

Coloniştii nu trebuie nici măcar să fie organisme ce trăiesc normal în sensul uzual al definiţiei. Este deja posibil să implantăm bucăţele de microprocesoare de siliciu în organismul uman. Prin dezvoltarea ulterioară a acestei tehnologii am putea asista la o mixtură de părţi organice şi electronice artificiale, folosind atît la funcţiile psihologice, cît şi la cele ale creierului. De exemplu, ar fi posibil să proiectăm largi memorii externe pentru creierul uman, similare cu cele de la calculatoare. Invers, se poate dovedi curînd a fi mai eficient să se adapteze materialul organic la performanţele calculatorului, decît să se producă dispozitive şi să se inventeze procedee dificile în acest scop. Într-adevăr, va fi posibil să „creştem" biologic componente ale calculatorului. Mai curînd, numeroase sarcini ale computerelor digitale vor fi înlocuite, pentru diferite sarcini, de reţele neurale; chiar în prezent reţelele neurale sînt folosite în locul computerelor digitale pentru a simula inteligenţa umană şi a prezice comportamentul

economic şi în acest caz ar fi mai bine să se cultive reţele neurale organice din biţi de ţesut din creier, decît ca ei să fie fabricaţi *ab initio*. Poate deveni plauzibil să se construiască un amestec simbiotic de reţele artificiale şi organice. O dată cu dezvoltarea minitehnologiei, distincţia dintre viu şi neviu, natural şi artificial, creier şi computer va deveni din ce în ce mai neclară.

În prezent, asemenea speculaţii aparţin domeniului ştiinţifico-fantastic. Pot ele oare să devină ştiinţă reală? La urma urmei, faptul că ne putem imagina ceva nu înseamnă neapărat că acest lucru trebuie să şi aibă loc. Totuşi putem aplica acelaşi principiu proceselor tehnologice ca şi celor naturale: avînd o durată suficientă de timp, orice lucru care *poate* să se întîmple se *va* întîmpla. Dacă oamenii sau descendenţii lor rămîn suficient de motivaţi (acesta poate fi un mare dacă), atunci tehnologia va fi limitată numai de legile fizicii. O provocare ca proiectul genetic uman, care poate fi o sarcină descurajantă pentru o unică generaţie de savanţi, ar fi destul de corectă dacă o sută, o mie sau chiar un milion de generaţii vor lucra la proiect.

Să analizăm poziţia optimistă ce spune că noi vom supravieţui şi vom continua să dezvoltăm tehnologia noastră către limitele sale. Ce urmări are acest lucru asupra explorării universului? Construcţia unor fiinţe sensibile proiectate în funcţie de scop va deschide posibilitatea trimiterii de agenţi în habitatele total ostile pînă acum, pentru a desfăşura sarcini de neimaginat în mod curent. Deşi aceste fiinţe ar putea fi produsele finale ale tehnologiei iniţiate de om, ele însele nu ar fi fiinţe umane.

Oare ar trebui să avem o grijă particulară pentru destinul acestor creaturi fantomatice? Mulţi oameni pot simţi un fel de repulsie la gîndul că umanitatea ar putea fi înlocuită prin asemenea monştri. Dacă supravieţuirea

cere fiinţe umane pentru a fabrica roboţi organici proiectaţi genetic, am opta poate pentru stingere. Chiar dacă probabilitatea dispariţiei umanităţii ne deprimă, trebuie să ne punem întrebarea precisă ce dorim să păstrăm din ceea ce au fiinţele omeneşti. În mod sigur nu este vorba despre forma noastră fizică. Ne-ar deranja oare în mod real să ştim că, de exemplu, peste un milion de ani, descendenţii noştri îşi vor fi pierdut degetele de la picioare? Sau ar avea picioare mai scurte, sau capete şi creiere mai mari? În cele din urmă, forma noastră fizică s-a schimbat oricum destul de mult în ultimele cîteva secole şi sînt în mod curent mari deosebiri între diferitele grupuri etnice.

Cînd sîntem siliţi, cred că majoritatea dintre noi ar pune mai mult preţ pe ceea ce putem numi spiritul uman — cultura noastră, sistemul nostru de valori, capacitatea noastră de gîndire, aşa cum sînt ele exemplificate prin creaţiile noastre intelectuale, ştiinţifice şi artistice. Aceste lucruri merită într-adevăr să fie păstrate şi perpetuate. Dacă am putea să trecem mai departe descendenţilor noştri această esenţială *umanitate*, oricare ar fi forma lor fizică, atunci va avea loc supravieţuirea a ceea ce contează cu adevărat.

Dacă este posibil să se creeze fiinţe asemănătoare omului şi care să meragă înainte şi să se împrăştie prin cosmos este desigur o chestiune ipotetică. Mai important decît orice altceva poate fi faptul că omenirea îşi va pierde motivaţia pentru a întreprinde ceva atît de măreţ sau că dezastre economice, ecologice sau de altă natură ne vor aduce moartea, înainte de a părăsi planeta definitiv. S-ar putea întîmpla chiar ca fiinţe extraterestre să se afle cu un pas înaintea noastră şi să fi colonizat deja majoritatea planetelor convenabile (deşi în mod evident nu Pămîntul — încă). Dar, fie că sarcina aceasta cade în seama descendenţilor noştri sau a altor specii

străine, posibilitatea de a se răspîndi prin univers, preluînd încet, încet controlul asupra sa prin tehnologie, este fascinantă şi sîntem tentaţi să întrebăm cum va combate o astfel de rasă superioară înceata degenerare a universului.

Durata în timp a decăderii fizice discutată în capitolul 7 este atît de mare încît orice încercare de a ghici cum va fi tehnologia în viitorul foarte îndepărtat, pornind de la prezent şi extrapolîndu-l, este lipsită de sens. Cine îşi poate imagina o societate tehnologică veche de un bilion de ani? Ar părea ca ar putea produce orice. Oricum, orice tehnologie, oricît de avansată, s-ar supune probabil încă legilor fundamentale ale fizicii. Dacă, de exemplu, teoria relativităţii este corectă în concluziile sale că nici un corp material nu poate depăşi viteza luminii, atunci chiar o dezvoltare tehnologică de un bilion de ani tot nu ar putea depăşi această barieră. Mai cu seamă, dacă orice activitate interesantă implică folosirea cel puţin a unei oarecare energii, atunci continua scădere a surselor de energie disponibile existente în univers va reprezenta pînă la urmă o ameninţare serioasă pentru o comunitate tehnologică, oricît de avansată ar fi ea.

Aplicînd principiile de bază ale fizicii la definirea în linii mari a fiinţelor sensibile, putem investiga dacă degenerarea universului în viitorul îndepărtat prezintă vreun obstacol fundamental pentru supravieţuirea lor. Ca o fiinţă să fie îndreptăţită la calificaticul de „sensibilă" trebuie cel puţin să fie capabilă să prelucreze informaţii. A gîndi şi a experimenta sînt amîndouă exemple de activitate ce implică prelucrarea informaţiei. Deci ce poate pretinde aceasta de la starea fizică a universului?

O trăsătură caracteristică a procesării informaţiei este că prin ea se cheltuieşte energie. Acesta este motivul pentru care obiectul desemnat prin cuvîntul procesor

la care culeg eu acum textul acestei cărţi trebuie să fie conectat la surse electrice. Cantitatea de energie pierdută pentru un bit de informaţie depinde de considerente termodinamice. Pierderea este cea mai mică atunci cînd procesorul operează la o temperatură apropiată de cea a mediului înconjurător. Creierul uman, ca şi majoritatea computerelor, lucrează foarte ineficient şi pierde mari cantităţi de energie sub formă de căldură. De exemplu, creierul omenesc produce o fracţiune importantă din căldura corpului, în timp ce majoritatea calculatoarelor are nevoie de un sistem special de răcire pentru a le împiedica să se topească. Originea acestei pierderi de căldură poate fi găsită în chiar logica de operare a procesării informaţiei care necesită descărcarea informaţiei. De exemplu, dacă un computer rezolvă calculul 1 + 2 = 3, atunci doi biţi de informaţie de intrare (1 şi 2) sînt înlocuiţi cu un singur bit de informaţie de ieşire (3). O dată ce calculul a fost făcut, computerul poate renunţa la informaţia de intrare, înlocuind astfel doi biţi cu unul. Într-adevăr, pentru a preveni blocarea grupurilor de memorie, maşina trebuie să renunţe mereu la informaţiile de prisos. Procesul de ştergere este prin definiţie ireversibil şi de aceea implică o creştere a entropiei. Bazîndu-ne pe raţionamente solide, se pare că adunarea şi prelucrarea informaţiei vor produce inevitabil şi ireversibil o secătuire de energie şi o creştere a entropiei universului.

Freeman Dyson a studiat problemele întîmpinate de o comunitate de fiinţe sensibile care sînt limitate de nevoia de disipare a energiei la o anumită viteză, chiar dacă numai pentru a gîndi — în timp ce universul se răceşte, mergînd către moartea termică. Prima constrîngere este că fiinţele trebuie să aibă o temperatură mai mare decît cea a mediului lor înconjurător, altfel căldura nu va ieşi din ele. În al doilea rînd, legile fizicii

limitează viteza la care un sistem fizic poate să radieze energie în împrejurimi. Este evident că fiinţele nu vor putea activa mult timp dacă produc pierdere de căldură mai repede decît scăpa de ea. Aceste cerinţe creează o limită inferioară a ratei la care fiinţele pierd în mod inevitabil energia. O cerinţă esenţială este că atunci trebuie să existe o sursă de energie liberă pentru a alimenta această pierdere vitală de căldură. Dyson concluzionează că toate aceste tipuri de surse sînt destinate să se micşoreze în viitorul îndepărtat al cosmosului, astfel încît toate fiinţele sensibile vor trebui în final să facă faţă unei crize energetice.

Există două căi de a prelungi longevitatea creaturilor sensibile. Una este de a supravieţui cît de mult posibil, cealaltă este de a grăbi *viteza* gîndirii şi experimentării. Dyson face presupunerea rezonabilă că experienţa subiectivă a fiinţelor asupra trecerii timpului depinde de viteza cu care ele prelucrează informaţia: cu cît mecanismul de prelucrare folosit este mai rapid, cu atît fiinţele au mai multe gînduri şi percepţii pe unitatea de timp şi cu atît timpul pare să treacă mai repede. Această presupunere este folosită într-o manieră plăcută în romanul ştiinţifico-fantastic *Dragon's Egg* (*Oul dragonului*), de Robert Foreword, care relatează povestea unei comunităţi de fiinţe conştiente care trăiesc la suprafaţa unei stele neutronice. Aceste fiinţe folosesc mai curînd procesele nucleare decît pe cele chimice pentru a-şi susţine existenţa. Întrucît interacţiunile nucleare sînt de mii de ori mai rapide decît cele chimice, fiinţele neutronice prelucrează informaţia mult mai rapid. O secundă pe scara timpului omenesc reprezintă echivalentul multor ani pentru ei. Comunitatea de pe steaua neutronică este într-o stare foarte primitivă atunci cînd oamenii iau contact cu ea pentru prima dată, dar se dezvoltă rapid şi curînd ajunge să depăşească umanitatea.

Din păcate, adoptarea acestei strategii ca mijloc de supravieţuire în viitorul îndepărtat are şi o latură negativă: cu cît informaţia este prelucrată mai rapid, cu atît viteza de disipare a energiei va fi mai mare şi cu atît mai rapid va fi procesul de golire a resurselor disponibile de energie. Am putea crede că acest lucru ar însemna inevitabila condamnare pentru descendenţii noştri, oricare ar fi forma lor fizică. Dar nu este neapărat aşa. Dyson a arătat că s-ar putea face un compromis înţelept în care comunitatea să-şi încetinească în mod gradat ritmul de activitate pentru a rivaliza cu procesul de degradare a universului, de exemplu, intrînd în hibernare pentru perioade din ce în ce mai lungi. În timpul fiecărei perioade de somnolenţă i se va permite căldurii rezultate din efortul activităţilor din faza activă precedentă să se disipeze şi să acumuleze energie folositoare care să fie utilizată în timpul următoarei faze active.

Timpul subiectiv resimţit de fiinţe ce adoptă această strategie va reprezenta o fracţiune din ce în ce mai mică din timpul real scurs, pentru că timpul de inactivitate al comunităţii creşte mereu. Dar aşa cum am tot remarcat, pentru totdeauna reprezintă un timp îndelungat şi trebuie să ne luptăm cu limite ce se opun: resursele ce tind către zero şi timpul ce tinde către infinit. Dyson a arătat dintr-o simplă examinare a acestor limite că timpul subiectiv total poate fi infinit chiar dacă resursele totale sînt finite. El citează o statistică uimitoare: o comunitate de fiinţe cu acelaşi nivel de populaţie ca omenirea de azi ar putea dăinui veşnic folosind o energie totală de 6×10^{30} J, acesta fiind debitul soarelui într-o perioadă de numai opt ore!

Adevărata imortalitate cere totuşi mai mult decît capacitatea de a prelucra o cantitate infinită de informaţii. Dacă o fiinţă are un număr finit de stări ale

creierului, atunci ea poate gîndi doar un număr finit de gînduri *diferite*. Dacă ar fi să dăinuie veşnic, aceasta ar însemna ca aceleaşi gînduri să se repete mereu. O astfel de existenţă pare la fel de lipsită de sens ca aceea a unei specii condamnate. Pentru a scăpa de acest sfîrşit mortal, este necesar atît pentru comunitate, cît şi pentru o anume superfiinţă să continue să-şi extindă creşterea nelimitat. Acest lucru produce o severă provocare în viitorul foarte îndepărtat, pentru că materia va dispărea mai repede decît poate fi rechiziţionată ca materie cerebrală. Poate un individ ingenios şi disperat va reuşi să utilizeze pe insesizabilul dar omniprezentul neutrino pentru a extinde anvergura activităţii sale intelectuale.

Mare parte din discuţia lui Dyson, şi mai ales majoritatea speculaţiilor despre soarta fiinţelor conştiente în viitorul îndepărtat, presupun în mod tacit că procesele mentale ale acestor fiinţe tind către un fel de proces de computerizare digital. Un calculator digital este în mod sigur o maşină în stadiu finit şi de aceea se confruntă cu o limită strictă a ceea ce poate realiza. Există totuşi şi alte feluri de sisteme cunoscute sub denumirea de computere analogice. Un exemplu simplu este o regulă glisantă. Calculaţia poate fi făcută ajustînd în mod continuu regula şi, într-un caz ideal, poate exista un număr infinit de stări. Astfel, computerele analogice depăşesc unele din limitele celor digitale, care pot înmagazina şi prelucra doar o cantitate finită de informaţii. Dacă informaţia este codificată în maniera unui computer analogic, să spunem prin poziţiile sau unghiurile obiectelor materiale, capacitatea calculatorului pare a fi nelimitată. Astfel, dacă o superfiinţă poate acţiona ca un computer analogic, poate nu numai să gîndească un număr infinit de gînduri, dar chiar un număr infinit de gînduri *diferite*.

Din păcate nu ştim dacă universul ca întreg este ca un computer digital sau ca unul analogic. Fizica cuanti-

că sugerează că, în cele din urmă, chiar universul întreg ar putea fi „cuantificat" şi el ar avea variaţii mai mult discrete decît continue în toate proprietăţile sale. Dar aceasta este pură supoziţie. Noi nici nu înţelegem relaţia dintre activitatea fizică şi mentală a creierului. S-ar putea ca gîndurile şi experienţele să nu poată fi pur şi simplu corectate cu ideile fizicii cuantice luate aici în considerare.

Oricare ar fi natura gîndirii, nu există nici o îndoială că fiinţele viitorului îndepărtat vor înfrunta criza ecologică finală: disiparea tuturor surselor de energie cosmică. Totuşi se pare că printr-un ritm lent de viaţă, ele ar putea atinge un fel de imortalitate. În scenariul lui Dyson, activităţile lor vor avea un impact din ce în ce mai mic asupra unui univers de o indiferenţă rece la cererile lor şi ele vor rămîne inactive pentru perioade nelimitate, păstrîndu-şi amintirile, dar neadăugîndu-le nimic, abia deranjînd întunecimea unui cosmos tăcut şi muribund. Dar printr-o organizare înţeleaptă ele ar putea încă să aibă un număr infinit de gînduri şi să facă un număr infinit de experienţe. Ce am putea spera mai mult?

Moartea termică a cosmosului a fost unul din miturile trainice ale epocii noastre. Am văzut cum Russell şi alţii şi-au însuşit ideea aparenţei degenerării inevitabile a universului, aşa cum o prezicea cea de-a II-a lege a termodinamicii, pentru a susţine o filozofie a ateismului, nihilismului şi disperării. Cu înţelegerea îmbunătăţită a cosmologiei pe care o avem, noi putem imagina astăzi un tablou oarecum diferit. Universul poate să se scufunde, dar el nu se sfîrşeşte. Legea a II-a a termodinamicii cu siguranţă se aplică, dar ea nu exclude în mod necesar imortalitatea culturală.

În realitate, lucrurile pot să nu fie atît de rele ca în scenariul lui Dyson. Pînă aici am presupus că universul rămîne mai mult sau mai puţin uniform atunci cînd el

se extinde şi se răceşte, dar acest lucru poate să nu fie corect. Gravitaţia este sursa multor instabilităţi, iar uniformitatea la scară mare a cosmosului pe care o vedem astăzi ar putea da naştere unei situaţii mult mai complicate în viitorul îndepărtat. De exemplu, micile variaţii ale ratei de expansiune în diferite direcţii s-ar putea amplifica. Imense găuri negre s-ar putea uni şi atracţia lor mutuală ar putea depăşi efectul de dispersie al expansiunii cosmologice. Aceasta ar conduce la o competiţie ciudată. Amintiţi-vă faptul că o gaură neagră cu cît este mai mică, cu atît este mai fierbinte şi dispare mai repede. Dacă două găuri negre se unesc, gaura rezultantă va fi mai rece, şi procesul de dispariţie va cunoaşte o cădere substanţială. În ceea ce priveşte viitorul foarte îndepărtat al universului, întrebarea care se pune este dacă rata de unificare a găurilor negre este suficientă pentru a echilibra pe cea a dispariţiei lor. Dacă este suficientă, atunci vor mai exista întotdeauna cîteva găuri negre care prin radiaţia Hawking pot să furnizeze o sursă de energie folositoare pentru o comunitate de fiinţe, eventual dîndu-le posibilitatea de viaţă fără a avea nevoie de hibernare. Calculele făcute de fizicienii Don Page şi Randall McKee sugerează faptul că această competiţie este o chestiune pe muchie de cuţit şi depinde în mod critic de viteza exactă cu care expansiunea universului continuă să scadă. Dar în unele modele unirea cîştigă.

Dyson a neglijat şi posibilitatea ca descendenţii noştri să ajungă să modifice ei înşişi organizarea la scară mare a cosmosului pentru a-şi menţine longevitatea. Astrofizicienii John Barrow şi Frank Tipler au analizat căile pe care o comunitate tehnologică avansată ar putea face mici modificări asupra mişcărilor stelelor, pentru a proiecta o situaţie gravitaţională favorabilă lor. De exemplu, armele nucleare ar putea fi folosite

spre a perturba uşor orbita unui asteroid, astfel încît, de exemplu, el să primească o viteză ca din praştie de la o planetă pentru a se sfărîma apoi de soare. Momentul impactului va modifica foarte uşor orbita soarelui în galaxie. Deşi efectul este mic, el este cumulativ: cu cît soarele se mişcă mai departe, cu atît deplasarea săvîrşită este mai mare. De-a lungul unei distanţe de mulţi ani lumină deplasarea ar putea ajunge să producă o diferenţă crucială dacă soarele s-ar apropia de o altă stea, schimbînd o întîlnire pur şi simplu liniştită într-una violentă ce ar modifica traiectoria soarelui în galaxie. Manipulînd multe stele, roiuri de corpuri astronomice pot fi create şi folosite în beneficiul comunităţii. Şi deoarece efectele se amplifică şi se acumulează, nu există limite la măsura sistemelor ce pot fi astfel controlate, cu un mic ghiont aici şi altul dincolo. Avînd un timp suficient — şi descendenţii noştri au cu siguranţă destul timp la dispoziţie — chiar galaxii întregi ar putea fi manevrate.

Acest grandios proiect cosmic ar trebui să intre în competiţie cu comportamentul haotic natural al stelelor şi galaxiilor pentru a le dezintegra, azvîrlindu-le corpurile din roiurile mărginite gravitaţional, aşa cum s-a descris în capitolul 7. Barrow şi Tipler au concluzionat că ar fi nevoie de 10^{22} ani pentru a reordona o galaxie prin manipularea unui asteroid. Din păcate, dezagregarea naturală are loc în aproximativ 10^{19} ani, astfel încît se pare că bătălia este cîştigată de natură. Pe de altă parte, descendenţii noştri pot prelua controlul asupra unor obiecte mult mai mari decît asteroizii. De asemenea, viteza dispersării naturale depinde de vitezele orbitale ale obiectelor. Cînd este vorba de galaxii întregi, aceste viteze scad cînd universul se extinde. Vitezele mai mici de asemenea fac manipularea artificială mai înceată, dar cele două efecte nu au aceeaşi viteză de

diminuare. Se pare că, o dată cu trecerea timpului, viteza degradării naturale ar trebui să scadă sub cea la care comunitatea de ingineri proiectanţi ar putea reordona universul. Aceasta ridică posibilitatea interesantă ca, o dată cu scurgerea timpului, fiinţele inteligente să cîştige din ce în ce mai mult control asupra unui univers tot mai lipsit de resurse, pînă cînd întreaga natură este în mod esenţial „tehnologizată" şi deosebirea între ce este natural şi ce este artificial dispare.

O afirmaţie principală a analizei lui Dyson este că procesele de gîndire inevitabil disipează energia. În mod sigur aşa se întîmplă cu gîndirea umană şi, pînă nu demult, se presupunea că orice formă de prelucrare a informaţiei trebuie să plătească un tribut minim termodinamicii. Ceea ce, în mod surprinzător, nu este neapărat corect. Specialiştii în computere, Charles Bennett şi Rolf Landauer de la IBM, au demonstrat că în principiu calculul reversibil este posibil. Aceasta înseamnă că (la ora actuală doar o ipoteză) sistemele fizice ar putea prelucra informaţie fără disipare. Este posibil de conceput un sistem care să gîndească un număr infinit de gînduri care să nu necesite nici un fel de alimentare cu energie! Nu este clar dacă un astfel de sistem poate atît *să adune* informaţie cît şi să o prelucreze, pentru că orice achiziţie de informaţie nebanală din împrejurimi ar părea să implice pierdere de energie într-o formă sau alta, chiar şi numai fiindcă ar cere selectarea semnalului din zgomot. De aceea această nepretenţioasă fiinţă nu ar avea nici o percepţie a lumii din jurul ei. Ar putea totuşi să-şi amintească un univers care a fost. Poate ar putea să şi viseze.

Imaginea universului în agonie i-a obsedat pe oamenii de ştiinţă timp de peste un secol. Concluzia că trăim într-un cosmos care degenerează constant prin risipa entropică face parte din folclorul culturii ştiinţifice.

Dar cît de bine este stabilit acest lucru? Putem oare fi siguri că *toate* procesele fizice duc inevitabil către haos şi degradare?

Dar biologia? Cel mai defensiv mod în care unii biologi apără evoluţia darwinistă dă o sugestie. Reacţia lor provine, cred eu, de la contradicţia neplăcută a unui proces care este condus în mod clar pentru a fi constructiv de forţe fizice ce se presupun a fi fundamental distructive. Viaţa pe Pămînt a început probabil ca un fel de materie vîscoasă primordială. Astăzi biosfera este un ecosistem complex şi bogat, o reţea complicat elaborată de organisme foarte variate aflate într-un proces subtil de interacţiune.

Deşi biologii, temîndu-se poate de voinţa divină, neagă orice dovadă în sprijinul unui progres sistematic în evoluţie, este evident atît pentru omul obişnuit, cît şi pentru savant că ceva a progresat, mai mult sau mai puţin unidirecţional, de la apariţia vieţii pe Pămînt. Problema este de a caracteriza această evoluţie mai precis. Ce anume a progresat?

Discuţiile de pînă acum despre supravieţuire au fost centrate pe lupta dintre informaţie (sau ordine) şi entropie — cu entropia avînd mereu cîştig de cauză. Dar oare informaţia *per se* este cantitatea de care trebuie să ne preocupăm? În cele din urmă, a ne croi drum în mod sistematic printre toate gîndurile posibile este la fel de captivant ca a citi cartea de telefon. Ceea ce contează este desigur *calitatea* experienţei sau, mai general, calitatea informaţiei ce este receptată şi utilizată.

Atît cît putem şti, universul a început într-o fază mai mult sau mai puţin lipsită de trăsături conturate. Cu timpul au apărut bogăţia, diversitatea şi varietatea sistemelor fizice pe care le vedem azi. De aceea istoria universului este istoria creşterii complexităţii organizate. Acesta pare a fi un paradox. Mi-am început expunerea

arătînd că a II-a lege a termodinamicii ne spune că universul este pe moarte, alunecînd în mod inexorabil de la un stadiu iniţial de joasă entropie către unul final de entropie maximă şi nulă ca perspectivă. Oare lucrurile se îmbunătăţesc sau se înrăutăţesc?

În realitate nu există nici un paradox, deoarece complexitatea organizată nu este acelaşi lucru cu entropia. Entropia, sau dezordinea, reprezintă negativul de la ordine sau informaţie: cu cît prelucrăm mai multă informaţie sau generăm mai multă ordine, cu atît mai mare este preţul entropic plătit: ordine aici înseamnă dezordine în altă parte. Legea a II-a spune că entropia cîştigă întotdeauna. Dar organizarea şi complexitatea sînt numai ordine şi informaţie. Ele se referă şi la anumite *feluri* de ordine şi informaţie. Se poate face o distincţie importantă între, să spunem, o bacterie şi un cristal. Amîndouă sînt ordonate, dar într-un fel diferit. O reţea de cristal reprezintă uniformitatea înregimentată, foarte frumoasă, dar absolut plictisitoare. Prin contrast, organizarea elaborată a unei bacterii este mult mai interesantă.

Acestea par judecăţi subiective, dar ele pot fi întărite prin raţionamente matematice. În ultimii ani a fost deschis un întreg nou cîmp de cercetare, al cărui scop este de a cuantifica astfel de concepte cum ar fi complexitatea organizată şi el caută să stabilească principii generale ale organizării pentru a le alătura legilor deja existente ale fizicii. Tema se află încă în perioada de început, dar reprezintă deja o provocare la adresa multor concluzii tradiţionale despre ordine şi haos.

În cartea mea *The Cosmic Blueprint* susţin că în univers operează un fel de „lege a creşterii complexităţii", care trebuie să stea alături de a II-a lege a termodinamicii. Nu există o incompatibilitate între aceste două legi. În practică, o creştere a complexităţii de organizare a unui sistem fizic măreşte entropia. De

exemplu, în evoluţia biologică, un organism nou, mai complex, apare numai după ce a avut loc o mulţime de procese fizice şi biologice distructive (moartea prematură a unor mutanţi neadaptaţi, de exemplu). Chiar formarea unui fulg de zăpadă creează pierdere de căldură care ridică entropia universului. Dar, aşa cum am explicat, legătura nu este directă, pentru că organizarea nu reprezintă negativul entropiei.

Sînt foarte bucuros să aflu că mulţi alţi cercetători au ajuns la concluzii similare şi se fac încercări pentru a se formula o „a II-a lege" a complexităţii. Deşi compatibilă cu legea a II-a a termodinamicii, legea complexităţii dă o foarte diferită imagine asupra schimbării cosmice, descriind un univers *progresînd* (într-un anume sens să fie făcut riguros prin investigaţiile la care am făcut aluzie), de la începuturile lipsite de contur pînă la stadii din ce în ce mai complex elaborate.

În contextul sfîrşitului universului, existenţa unei legi a complexităţii crescînde are o profundă semnificaţie. Dacă complexitatea organizată nu este opusul entropiei, atunci păstrarea limitată a entropiei negative în univers nu trebuie neapărat să pună o limită nivelului de complexitate. Preţul entropic plătit pentru creşterea complexităţii poate fi mai curînd pur şi simplu incidental decît fundamental, aşa cum este cazul cu simpla ordonare sau prelucrare a informaţiei. Dacă este aşa, atunci descendenţii noştri ar putea fi capabili să ajungă la stadii de şi mai mare complexitate a organizării fără a risipi resursele în scădere. Deşi vor putea avea restricţii în ceea ce priveşte cantitatea de informaţie de prelucrat, s-ar putea să nu existe limită în ce priveşte bogăţia şi calitatea activităţilor lor fizice şi mentale.

În capitolul acesta, ca şi în ultimul, am încercat să zugrăvesc în fugă imaginea unui univers încetinind, dar poate nepierzîndu-şi niciodată energia chiar complet, a

unor bizare creaturi stiinţifico-fantastice prelungindu-şi existenţa împotriva a nenumărate evenimente ce se îngrămădesc contra lor din ce în ce mai mult, testîndu-le ingeniozitatea împotriva inexorabilei logici a celei de-a II-a legi a termodinamicii. Imaginea disperatei lor lupte pentru supravieţuire, care nu este totuşi neapărat fără speranţă, poate să-i încurajeze pe unii cititori, în timp ce-i deprimă pe alţii. Sentimentele mele sînt amestecate.

Întreaga speculaţie este totuşi bazată pe concluzia că universul va continua să se extindă pentru totdeauna. Am văzut cum acesta este doar unul din destinele posibile ale cosmosului. Dacă expansiunea scade suficient de repede, universul poate să-şi oprească într-o zi expansiunea şi să înceapă să se contracte către o implozie. Atunci ce speranţă de supravieţuire ar mai fi?

CAPITOLUL 9

Viaţa în ritm rapid

Nici o cantitate de ingeniozitate a oamenilor sau a altor făpturi nu poate prelungi viaţa pe vecie, dacă „vecia" nu există. Dacă universul ca întreg poate exista doar un timp finit, atunci Armageddon este inevitabil. În capitolul 6 am explicat cum soarta finală a cosmosului depinde de greutatea sa totală. Observaţiile sugerează faptul că greutatea universului se află foarte aproape de linia critică de graniţă dintre expansiunea eternă şi colapsul final. Dacă universul ar începe pînă la urmă să se contracte, atunci experienţele oricărei fiinţe sensibile ar fi într-adevăr total diferite de descrierea făcută în ultimul capitol.

Stadiile timpurii ale contracţiei cosmologice nu sînt deloc ameninţătoare. Ca o minge ce ajunge la capătul traiectoriei sale, universul va începe căderea în interiorul său foarte încet. Să presupunem pentru moment că cel mai înalt punct este atins peste o sută de miliarde de ani, atunci vor fi încă multe stele care ard, iar descendenţii noştri care vor fi capabili să urmărească mişcările galaxiilor îndepărtate cu ajutorul telescoapelor optice vor vedea cum ele îşi încetinesc treptat fuga şi încep să cadă înapoi una către alta. Galaxiile pe care le putem vedea azi vor fi aproximativ de patru ori mai

depărtate la acel moment. Datorită vîrstei mai mari a universului, astronomii vor fi capabili să vadă cam de zece ori mai departe decît acum, astfel încît universul lor observabil va cuprinde mult mai multe galaxii decît cele vizibile în epoca noastră cosmică.

Faptul că lumina are nevoie de multe miliarde de ani pentru a traversa cosmosul înseamnă că o sută de miliarde de ani de aici încolo nici un astronom nu va putea vedea contracţia un timp foarte îndelungat. Mai întîi ei vor observa că galaxiile relativ învecinate se apropie în medie mai mult decît se retrag, dar lumina ce vine de la cele îndepărtate va apărea deplasată spre roşu. Numai după zeci de miliarde de ani ar deveni aparentă o sistematică prăbuşire. Mai uşor de recunoscut ar fi o uşoară schimbare în temperatura radiaţiei termice de fond. Reamintiţi-vă că este rămasă de la explozia iniţială şi are în mod curent temperatura de aproximativ trei grade peste zero absolut. Ea se răceşte pe măsură ce universul se extinde. În o sută de miliarde de ani ea va fi scăzut la aprozimativ un grad. Temperatura ajunge pînă la înaltul punct de expansiune şi de îndată ce se instalează contracţia, temperatura va începe din nou să crească, revenind la trei grade cînd universul s-a contractat pînă la aceeaşi densitate ca astăzi. Acest lucru va dura încă o sută de miliarde de ani: ridicarea şi căderea universului sînt simetrice în timp.

Universul nu colapsează pur şi simplu peste noapte. În adevăr, pentru zeci de miliarde de ani, descendenţii noştri vor putea avea un trai bun, chiar după ce va fi început contracţia. Totuşi, situaţia nu este chiar aşa de roz, dacă schimbarea are loc după o perioadă mult mai lungă de timp, să spunem un bilion de bilioane de ani. În acest caz, stelele vor fi ars deja înainte de atingerea punctului cel mai înalt şi toţi locuitorii supravieţuitori vor face faţă aceloraşi probleme ca şi cele întîlnite în orice colţ al unui univers aflat în expansiune veşnică.

Oricînd s-ar produce schimbarea, măsurată începînd de acum în ani, după acelaşi număr de ani universul va ajunge din nou la dimensiunea actuală. Totuşi aspectul său va fi foarte diferit. Chiar la o schimbare la o sută de miliarde de ani, vor exista mult mai multe găuri negre şi mult mai puţine stele decît acum. Planetele locuibile vor fi foarte solicitate.

În momentul cînd universul se va întoarce la dimensiunea actuală, el va continua să se contracte într-un ritm suficient, înjumătăţindu-şi dimensiunile în aproximativ trei miliarde şi jumătate de ani şi accelerînd mereu ritmul. Distracţia începe la aproximativ zece miliarde de ani după aceasta, în momentul în care creşterea de temperatură a radiaţiei termice de fond va fi început totuşi să devină o serioasă ameninţare. Atunci cînd temperatura se va fi ridicat la aproape 300° K, o planetă ca Pămîntul ar avea dificultăţi în a se debarasa de căldură. Ea ar începe să se încălzească implacabil. Mai întîi s-ar topi calotele de gheaţă şi gheţarii, apoi oceanele ar începe să se evapore.

Peste 40 milioane de ani, temperatura radiaţiei de fond ar ajunge la media temperaturii de astăzi a Pămîntului. Planetele de tipul Pămîntului ar fi atunci complet inospitaliere. Desigur Pămîntul va fi înfruntat deja o soartă asemănătoare, pentru că soarele se va fi dilatat devenind o gigantă roşie, dar de data aceasta nu există nici un loc unde să se ducă descendenţii noştri, nici un refugiu sigur. Radiaţia termică umple întregul univers. În întregul spaţiu temperatura este de 200° C şi creşte mereu. Toţi astronomii care s-au adaptat la condiţiile toride sau au creat ecosisteme congelate, pentru a întîrzia momentul în care vor fi prăjiţi, şi-ar da seama că universul colapsează cu paşi mari, înjumătăţindu-şi dimensiunile la fiecare cîteva milioane de ani. Toate galaxiile ce mai există încă ar deveni de

nerecunoscut, deoarece se vor fi contopit. Totuşi, ar mai exista mult spaţiu gol: coliziunile între stele ar fi rare.

Condiţiile în universul ce se apropie de faza sa finală ar începe din ce în ce mai mult să semene cu cele ce au prevalat la scurt timp după explozia iniţială. Astronomul Martin Rees s-a ocupat de un studiu escatologic al cosmosului. Aplicînd principiile generale ale fizicii, el a fost capabil să construiască o imagine a ultimelor stadii ale colapsului. În cele din urmă, radiaţia termică cosmică ar fi atît de intensă încît cerul nopţii ar deveni o vîlvătaie de un roşu mohorît. Universul s-ar transforma încet într-un furnal cosmic ce cuprinde totul, arzînd orice formă fragilă de viaţă, oriunde s-ar ascunde ea şi îndepărtînd atmosferele planetare. Treptat, vîlvătaia roşie ar deveni galbenă, apoi albă, pînă cînd radiaţia aprigă şi fierbinte ce scaldă universul ar deveni o ameninţare chiar pentru existenţa stelelor. Incapabile să-şi împrăştie energia, stelele ar depozita în interiorul lor căldura şi ar exploda. Spaţiul s-ar umple cu gaz fierbinte, sau plasmă, arzînd într-o puternică vîlvătaie şi devenind din ce în ce mai fierbinte.

Pe măsură ce ritmul schimbării creşte, condiţiile devin din ce în ce mai extreme. Universul începe să se schimbe în mod substanţial la o scară de timp de numai o sută de mii de ani, apoi o mie, apoi o sută, grăbindu-se către catastrofa totală. Temperatura se ridică la milioane şi apoi la miliarde de grade. Materia care astăzi ocupă regiuni vaste ale spaţiului este comprimată în volume mici. Masa unei galaxii ocupă un spaţiu de numai cîţiva ani lumină în diagonală. Au sosit ultimele trei minute.

Temperatura devine în cele din urmă atît de mare încît chiar nucleele atomice se dezintegrează. Materia apare ca formată din dungi uniforme de particule ele-

mentare, alcătuind un amalgam (o „ciorbă"). Toată munca şi întregul aport ale exploziei iniţiale şi ale generaţiilor de stele în crearea elementelor chimice grele sînt distruse în mai puţin timp decît vă ia să citiţi această pagină. Nucleele atomice — structuri stabile — care ar putea să fi rezistat epoci nespus de lungi sînt strivite în mod ireversibil. Cu excepţia găurilor negre, toate celelalte structuri au fost deja demult anihilate. Acum universul se bucură de o elegantă dar sinistră simplitate. Nu mai are de trăit decît cîteva secunde.

În timp ce cosmosul colapsează din ce în ce mai repede, temperatura se ridică fără limite. Materia este comprimată atît de puternic, încît nu mai există protoni şi neutroni individuali, există numai o „ciorbă" de particule quark. Viteza de colapsare continuă să crească.

S-a ajuns acum la catastrofa cosmică finală, sîntem cu cîteva microsecunde înainte. Găurile negre încep să se contopească, interioarele lor diferind doar puţin de stadiul general de colapsare a universului însuşi. Există acum regiuni spaţio-temporale care au trăit deja sfîrşitul puţin mai devreme şi sînt ajunse din urmă de restul cosmosului.

În momentele finale, gravitaţia devine forţa atotstăpînitoare, strivind fără milă materie şi spaţiu. Curbura spaţio-temporală creşte din ce în ce mai repede. Regiuni din ce în ce mai mari ale spaţiului sînt comprimate în volume din ce în ce mai mici. Aşa cum spune teoria convenţională, implozia devine extraordinar de puternică, strivind tot ce există ca obiecte fizice şi anihilîndu-le, inclusiv spaţiul şi timpul, către o singularitate spaţio-temporală.

Acesta este sfîrşitul.

„Marea implozie", atît cît o înţelegem, nu reprezintă doar sfîrşitul materiei. Ea este sfîrşitul a *tot ce există.* Deoarece timpul însuşi încetează să mai existe, este

lipsit de sens să ne întrebăm ce se întîmplă *după* aceea, aşa cum este la fel de fără sens întrebarea cu privire la ce s-a întîmplat înainte de explozia iniţială. Nu există nici un „după" pentru a se mai întîmpla ceva, nu există nici un timp, nici măcar pentru inactivitate şi nici spaţiu pentru goliciune. Un univers care a început din nimic o dată cu explozia iniţială va dispărea în nimic o dată cu sfărîmarea finală, din măreţii săi ani de existenţă, infiniţi la număr, nerămînînd nici măcar o amintire.

Oare ar trebui să fim deprimaţi de o asemenea perspectivă? Ce este mai rău, un univers ce degenerează încet, extinzîndu-se mereu către un stadiu de gol negru, sau unul aflat într-o implozie înspăimîntătoare către uitarea totală? Şi ce speranţă de imortalitate mai poate fi acum, într-un univers destinat a sfîrşi înainte de vreme?

Viaţa în preajma marii sfărîmări pare mai lipsită de speranţe decît cea din viitorul foarte îndepărtat al unui univers în veşnică expansiune. Problema nu mai este acum lipsa de energie, ci excesul ei. Totuşi descendenţii noştri vor avea la dispoziţie miliarde sau chiar bilioane de ani să se pregătească pentru holocaustul final. În această perioadă, viaţa s-ar putea extinde în cosmos. În cel mai simplu model de univers care colapsează volumul total al spaţiului este de fapt finit. Aceasta se datorează faptului că spaţiul este curbat şi se poate uni cu el însuşi în echivalentul tridimensional al suprafeţei unei sfere. De aceea este de conceput că fiinţe inteligente se pot răspîndi prin univers şi pot prelua controlul asupra lui şi de aceea să se afle în poziţia de a înfrunta sfărîmarea finală avînd toate resursele posibile la dispoziţia lor.

La început este greu să ne dăm seama de ce ar trebui ele să-şi facă probleme. Fiind dat faptul că existenţa dincolo de sfărîmarea finală este o imposibilitate din punct de vedere logic, care ar fi scopul prelungirii puţin

mai mult a agoniei? Anihilarea cu zece milioane sau un milion de ani înainte de sfîrşit este acelaşi lucru, oricum, într-un univers bătrîn de bilioane de ani. Dar nu trebuie să uităm că timpul este relativ. Timpul subiectiv al urmaşilor noştri va depinde de viteza lor de metabolism şi de prelucrare a informaţiei. Din nou, presupunînd că ei au suficient timp pentru a-şi adapta forma fizică, ei pot deveni capabili să transforme apropierea de Hades într-un soi de nemurire.

O temperatură în creştere înseamnă că particulele se mişcă mai iute şi procesele fizice au loc mai repede. Amintiţi-vă că cerinţa esenţială pentru o fiinţă sensibilă este posibilitatea de a prelucra informaţia. Într-un univers cu o temperatură în creştere, viteza de prelucrare a informaţiei va creşte şi ea. Pentru o fiinţă ce foloseşte procesele termodinamice la un miliard de grade, distrugerea iminentă a universului va părea să se petreacă peste mulţi, mulţi ani. Nu este deci nevoie să ne temem de sfîrşitul timpului, dacă timpul rămas poate fi întins la infinit în minţile observatorilor. Cum colapsul se accelerează către implozia finală, experienţele subiective ale observatorilor s-ar putea în principiu dilata şi mai repede, egalînd căderea accelerată către Armageddon cu o viteză din ce în ce mai mare de gîndire.

Ne-am putea întreba dacă o superfiinţă aflată în universul ce colapsează în momentele finale ar putea poseda un număr infinit de gînduri şi experienţe distincte în timpul finit disponibil. Această chestiune a fost studiată de John Barrow şi Frank Tipler. Răspunsul depinde în mod critic de detaliile fizice din stadiile finale. De exemplu, dacă universul rămîne suficient de uniform în apropierea sa de singularitatea finală, se ridică o problemă majoră. Oricare ar fi viteza gîndului, viteza luminii rămîne neschimbată şi lumina

poate călători cu viteze de cel mult o secundă lumină în fiecare secundă. Deoarece viteza luminii defineşte viteza limită cu care *orice* efect fizic poate să se propage, urmează că nu vor putea avea loc nici un fel de comunicaţii între regiunile din univers aflate la mai mult de o secundă lumină, în timpul ultimei secunde. (Acesta este un alt exemplu de orizont al evenimentelor, similar celui ce împiedică ieşirea informaţiei din găurile negre.) Pe măsură ce sfîrşitul se apropie, dimensiunile regiunilor cu care comunicăm şi numărul particulelor pe care ele le conţin tind către zero. Pentru ca un sistem să poată prelucra informaţie, trebuie ca toate părţile sistemului să participe. În mod clar, viteza finită a luminii acţionează pentru a limita dimensiunea oricărui „creier" care ar exista în apropierea sfîrşitului, iar acesta, în schimb, ar putea limita numărul stadiilor distincte — aşadar gîndurile — pe care le poate avea un astfel de creier.

Pentru a scăpa de această restricţie, ar fi necesar ca stadiile finale de colapsare a cosmosului să se abată de la uniformitate şi, într-adevăr, acest lucru este foarte probabil. Cercetările matematice extinse ale colapsului gravitaţional sugerează faptul că în timpul imploziei universului, viteza de colapsare pe diferite direcţii începe să varieze. În mod ciudat, nu este numai o chestiune legată de faptul că universul se contractă mai repede pe o direcţie decît pe alta. Apar nişte oscilaţii, astfel încît direcţia cu colapsarea cea mai rapidă continuă să se schimbe. De fapt, universul pendulează în drumul său către extindere, în cicluri ale căror violenţe şi complexităţi cresc mereu. Barrow şi Tripler presupun că aceste oscilaţii complicate cauzează dispariţia orizontului evenimentelor întîi într-o direcţie, apoi în alta, permiţînd tuturor regiunilor spaţiului să se afle în legătură. Orice supercreier ar avea nevoie să fie inge-

nios şi rapid şi să comute butonul comunicării dintr-o direcţie în alta pe măsură ce oscilaţiile determină un colaps mai rapid pe o direcţie şi apoi pe alta. Dacă fiinţa reuşeşte să ţină pasul, oscilaţiile ar putea ele însele să furnizeze energia necesară pentru a conduce procesele de gîndire. Mai mult, în modelele matematice simple numărul de oscilaţii apare infinit pe o durată finită de timp ce se termină cu sfărîmarea finală. Acest lucru se îngrijeşte de o cantitate infinită de informaţie prelucrată şi de aici înainte, prin supoziţie, de un timp subiectiv infinit pentru superfiinţă. Astfel, lumea minţii poate să nu se termine niciodată, chiar dacă cea fizică ajunge la o încetare bruscă o dată cu sfărîmarea finală.

Ce ar fi capabil să facă un creier de capacitate nelimitată? După părerea lui Tipler, nu numai că ar putea să delibereze asupra tuturor aspectelor existenţei sale şi a universului pe care l-a cuprins, dar cu o putere infinită de prelucrare a informaţiei, ar putea continua simulînd lumi imaginare într-o orgie a realităţii virtuale. Nu ar exista nici o limită a numărului de universuri posibile de conţinut în acest fel. Astfel, nu numai că ultimele trei minute ar fi lungite către eternitate, dar ele ar permite realitatea simulată a unei infinite varietăţi de activitate cosmică.

Din păcate, aceste speculaţii (oarecum „exotice") depind de modele fizice foarte particulare, care se pot dovedi a fi total nerealiste. Ele ignoră de asemenea efectele cuantice care ar domina probabil stadiile finale ale colapsului gravitaţional şi ar putea pune o limită finală vitezei de procesare a informaţiei. Dacă este aşa, atunci să sperăm că superfiinţa cosmică sau supercomputerul vor ajunge măcar să înţeleagă suficient de bine existenţa şi în timp util pentru a se împăca cu ideea propriei lor mortalităţi.

CAPITOLUL 10

Moarte bruscă — şi renaştere

Pînă aici am presupus că sfîrşitul universului, fie prin explozie, fie printr-un scîncet înăbuşit (sau, mai curînd, prin implozie sau îngheţare) va avea loc în viitorul foarte, foarte îndepărtat, eventual infinit. Dacă universul colapsează,urmaşii noştri ar avea multe miliarde de ani la dispoziţie pentru a fi preveniţi de implozia inevitabilă. Dar mai rămîne o posibilitate, mult mai alarmantă.

Aşa cum am explicat, cînd astronomii privesc atent cerul, ei nu văd universul aşa cum este acum, etalat ca o fotografie instantanee. Deoarece există un timp necesar luminii să ajungă la noi din regiuni foarte îndepărtate, vedem orice obiect din spaţiu aşa cum a fost cînd radiaţia luminoasă a fost emisă. Telescopul este un căutător în timp, un „timposcop". Cu cît un obiect este mai îndepărtat, cu atît mai îndepărtată în timp va fi şi imaginea sa pe care o vedem azi. Într-adevăr, universul astronomilor reprezintă o privire retrospectivă prin spaţiu şi timp cunoscută din punct de vedere tehnic sub numele de „conul luminii trecute" şi desenată în fig. 10.1.

În concordanţă cu teoria relativităţii, nici o informaţie sau influenţă fizică nu poate călători mai repede decît lumina. De aceea, conul luminii trecute marchează

limita, nu numai a tuturor cunoştinţelor despre univers, dar şi a tuturor evenimentelor care ne pot afecta în acest moment. Urmează că orice influenţă fizică ce vine la noi cu viteza luminii soseşte fără a ne preveni. Dacă sfîrşitul catastrofal se îndreaptă către noi prin conul luminii trecute, nu va avea nici un sol care să-l prevestească. Vom afla despre el în momentul în care ne va lovi.

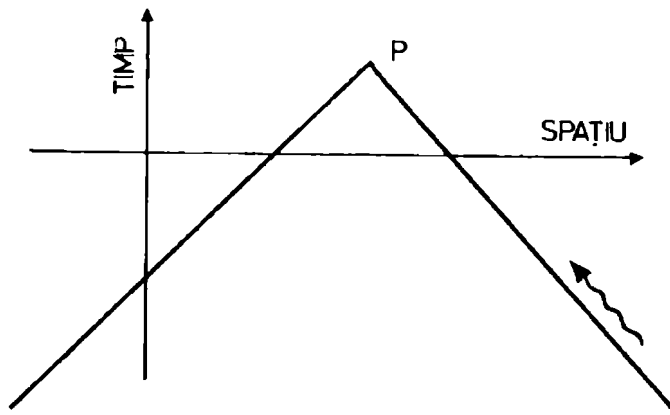


FIGURA 10.1 Dintr-un anume punct *P* aflat în spaţiu şi timp, care ar putea fi de exemplu *acum* şi *aici*, un astronom ce priveşte către univers îl vede de fapt aşa cum era în trecut, nu cum este în prezent. Informaţia ce soseşte la *P* călătoreşte de-a lungul „conului luminii trecute", trecînd prin *P*, marcat prin liniile oblice. Acestea sînt cărările semnalelor luminoase convergînd pe Pămînt din regiunile îndepărtate ale universului din trecut. Deoarece nici o informaţie sau influenţă fizică nu poate călători mai repede decît lumina, observatorul poate la momentul considerat doar să afle despre evenimentele sau influenţele ce se petrec în regiunea umbrită. Un eveniment apocaliptic petrecut în afara conului de lumină trecută ar putea să trimită influenţe dezastruoase (linie ondulată) gonind către Pămînt, dar observatorul ar fi total neprevenit pînă cînd ele nu ar sosi.

Pentru a da un exemplu ipotetic simplu, dacă soarele ar exploda acum, noi nu am fi informaţi despre aceasta decît cu opt minute şi jumătate mai tîrziu, acesta fiind timpul necesar luminii să străbată distanţă de la soare la Pămînt. În mod similar, este foarte posibil ca o stea

apropiată să fi explodat deja ca supernovă — un eveniment ce ar putea scălda Pământul cu radiaţii mortale —, dar noi vom rămîne total ignoranţi încă cîţiva ani în timp ce vestea rea va străbate galaxia cu viteza luminii. Astfel, deşi universul pare destul de liniştit la momentul actual, nu putem fi siguri că nu s-a produs deja ceva groaznic.

Majoritatea violenţelor ivite brusc în univers aduce stricăciuni pe o arie limitată, în vecinătatea cosmică locală. Moartea stelelor sau căderea materiei într-o gaură neagră vor distruge planete şi stele vecine, poate pe o distanţă de cîţiva ani lumină. Cea mai spectaculoasă pare a fi cea de care au avut parte nucleele unor galaxii. Aşa cum am descris, imense jeturi de materie sînt cîteodată aruncate cu o viteză de o fracţiune importantă din viteza luminii şi o dată cu ele sînt emise mari cantităţi de radiaţii. Aceasta este violenţă la scară galactică.

Dar ce se poate spune despre evenimentele distructive la proporţii ce afectează întregul univers? Ar fi posibil să aibă loc o convulsie care să distrugă întregul cosmos dintr-o lovitură, în miezul vieţii, ca să spunem aşa? Ar fi putut deci o catastrofă cosmică să se fi declanşat deja, efectele sale neplăcute îndreptîndu-se spre noi chiar acum prin conul luminii trecute, către fragila noastră nişă în spaţiu şi timp?

În 1980, fizicienii Sidney Coleman şi Frank De Luccia au publicat o lucrare rău prevestitoare cu un titlu inofensiv *Gravitational effects on and of Vacuum Decay* (*Efectele gravitaţionale asupra şi ale dezintegrării vidului*) în revista *Physical Review*. Vidul la care se referă ei nu este doar un spaţiu gol ci starea de vid a fizicii cuantice. În capitolul 3 am explicat cum ceea ce poate să ne apară ca gol de fapt musteşte de activitatea efemeră a cuantelor, în vreme ce particule virtuale fantomatice apar şi dispar într-o zbenguială întîmplătoare. Să ne reamintim că această stare de vid poate să nu fie

unică. Ar putea exista mai multe stări cuantice, toate în aparenţă goale, dar bucurîndu-se de diferite niveluri de activitate cuantică şi de diferite energii asociate.

Este un principiu bine stabilit al fizicii cuantice că stările cu energie mai înaltă tind să decadă către stări cu energie mică. Un atom, de exemplu, poate exista în diferite stări excitate, dar ele toate sînt instabile şi atomul va încerca să decadă către cea mai mică energie în care devine stabil (starea „fundamentală"). În mod similar, o stare de vid excitat va încerca să decadă către nivelul de cea mai mică energie, sau starea de vid „adevărat". Scenariul universului inflaţionist se bazează pe teoria că universul foarte timpuriu a început cu o stare de vid excitat sau „fals", timp în care s-a dilatat în mod frenetic, dar, după foarte scurt timp, această stare a decăzut către vidul adevărat şi inflaţia a încetat.

Concluzia generală este că starea actuală a universului corespunde vidului adevărat, adică spaţiul gol în epoca noastră este starea de vid cu nivelul de energie cel mai scăzut posibil. Dar sîntem oare siguri de aceasta? Coleman şi De Luccia au analizat posibilitatea ca vidul actual să nu fie vidul „adevărat", ci doar un vid metastabil mai de durată — care ne-a liniştit cu o falsă senzaţie de siguranţă, pentru că a durat mai multe miliarde de ani. Ştim de la multe sisteme cuantice, cum ar fi nucleele de uraniu, că timpul de înjumătăţire este de miliarde de ani. Dacă vidul actual intră în această categorie? „Dezintegrarea" vidului menţionată în titlul lucrării lui Coleman şi De Luccia se referă la posibilitatea catastrofală ca starea actuală de vid să eşueze în mod neaşteptat şi să aşeze cosmosul într-o stare de energie şi mai scăzută, cu toate consecinţele cumplite pentru noi.

Cheia ipotezei lui Coleman şi De Luccia este fenomenul de tunelare cuantică. Acesta poate fi cel mai bine ilustrat cu cazul simplu al unei particule cuantice prinsă

de o barieră de forţă. Să ne închipuim că particula se află într-o vale mărginită pe ambele părţi de coline, aşa cum se arată în fig. 10.2. Cu siguranţă, acestea nu trebuie să fie coline adevărate, ele pot fi, de exemplu, cîmpuri de forţă electrică sau nucleară. În lipsa energiei necesare pentru a urca colinele (sau pentru a depăşi bariera de forţă) particula pare a fi prinsă pentru vecie. Dar să ne reamintim că toate particulele cuantice se supun principiului incertitudinii al lui Heisenberg, care permite ca energia să fie „împrumutată" pe durată scurtă. Aceasta deschide o posibilitate interesantă. Dacă particula poate împrumuta suficientă energie pentru a ajunge la vîrful colinei şi poate trece de cealaltă parte înainte de a trebui să dea energia înapoi, atunci particula poate scăpa din gaură. De fapt ar însemna că a trecut prin efectul de „tunel" al barierei.

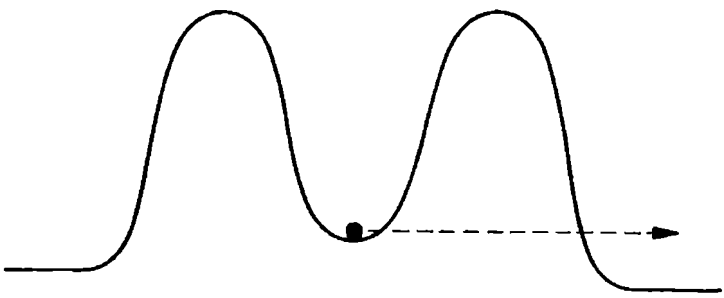


FIGURA 10.2 Efectul tunel. Dacă o particulă cuantică este prinsă într-o vale între două coline, există o mică probabilitate ca ea să evadeze împrumutînd energie şi sărind peste colină. De fapt, ea este observată „tunelînd" prin barieră. Un caz obişnuit se petrece atunci cînd particulele alfa din nucleele unor anumite elemente „tunelează" prin bariera forţei nucleare şi pleacă în zbor — fenomen cunoscut ca radioactivitate alfa. În acest exemplu, „colina" se datorează forţelor electrice şi nucleare, iar desenul de aici este numai schematic.

Probabilitatea ca particula cuantică „să scape" prin efectul tunel dintr-o gaură ca aceasta depinde foarte

mult atît de adîncimea cît şi de lăţimea barierei. Cu cît bariera este mai înaltă, cu atît particula are nevoie să împrumute mai multă energie pentru a ajunge în vîrf şi astfel, conform principiului incertitudinii, cu atît mai scurtă trebuie să fie durata împrumutului. În consecinţă, barierele înalte pot fi „tunelate" doar dacă sînt subţiri, permiţînd particulei să le treacă suficient de repede pentru a restitui împrumutul la timp. De aceea efectul tunel nu este observabil în viaţa de toate zilele: barierele macroscopice sînt mult prea înalte şi late pentru ca să aibă loc o tunelare semnificativă. În principiu, o fiinţă omenească poate să treacă printr-un zid de cărămidă, dar probabilitatea de tunelare cuantică pentru acest miracol este extrem de mică. Totuşi, la scară atomică, efectul tunel este foarte obişnuit. Este, de exemplu, mecanismul prin care se produce radioactivitatea alfa. Efectul tunel este folosit şi la semiconductoare şi alte produse electronice cum ar fi dioda tunel.

Cu privire la problema posibilei dezintegrări a vidului prezent, Coleman şi De Luccia au speculat faptul că acele cîmpuri cuantice care formează vidul ar putea fi supuse la un peisaj (metaforic) de forţe, aşa cum se vede în fig. 10.3. Starea actuală de vid corespunde bazei din valea A. Vidul adevărat corespunde totuşi bazei din valea B, care este mai joasă decît A. Vidul ar dori să decadă de la energia mai înaltă a stării A, la aceea mai joasă a stării B, dar este împiedicat să o facă de „colina" sau cîmpul de forţă care le separă. Deşi colina împiedică dezintegrarea, ea nu o exclude total datorită efectului tunel: sistemul poate „tunela" din valea A către valea B. Dacă teoria este corectă, atunci universul trăieşte pe timp împrumutat, agăţat în valea A, dar cu o şansă clară de a „tunela" către valea B la un moment dat.

Coleman şi De Luccia au fost capabili să modeleze matematic dezintegrarea vidului, trasînd maniera în care

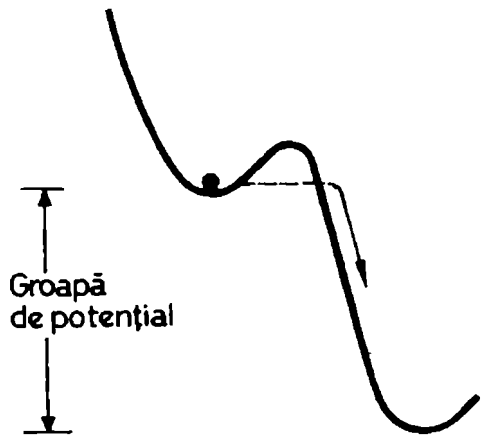


FIGURA 10.3 Stările de vid fals şi adevărat. Ar putea fi cazul ca starea cuantică prezentă a spaţiului gol *A* să nu fie starea de cea mai mică energie, dar să fie oricum cvasistabilizată corespunzînd unui fel de vale de înaltă altitudine. Atunci ar exista o mică probabilitate ca această stare să decadă prin efectul tunel către starea *B* de bază, cu adevărat stabilă. Această tranziţie între cele două stări, producîndu-se pe cale formării bulei, ar elibera o mare cantitate de energie.

fenomenul se petrece. Ei au descoperit că dezintegrarea va începe într-un loc oarecare din spaţiu sub forma unei slabe bule de vid „adevărat" înconjurată de vidul „fals" instabil. De îndată ce bula de vid adevărat se va forma, ea se va extinde, cu o viteză apropiindu-se rapid de cea a luminii, absorbînd regiuni din ce în ce mai largi din vidul fals şi transformîndu-le instantaneu în vid adevărat. Diferenţa de energie dintre cele două stări, care ar fi putut să aibă tipul de valori enorme despre care am discutat în capitolul 3, este concentrată în peretele bulei ce zboară rapid prin univers distrugînd totul în calea sa.

Primul moment în care vom afla de existenţa unei bule de vid adevărat va fi cînd peretele va ajunge la

structura cuantică a lumii noastre brusc schimbată. Nu vom avea nici măcar trei minute pentru a fi preveniţi. Instantaneu, natura tuturor particulelor subatomice şi a interacţiunilor lor s-ar schimba total; de exemplu, protonii pot să se dezintegreze instantaneu, caz în care întreaga materie ar dispărea rapid. Ceea ce ar rămîne s-ar găsi în interiorul bulei de vid adevărat, o stare de lucruri foarte diferită de ceea ce observăm pe moment. Cea mai importantă diferenţă priveşte gravitaţia. Coleman şi De Luccia au descoperit că energia şi presiunea vidului adevărat ar crea un cîmp gravitaţional atît de intens că regiunea din interiorul bulei ar colapsa, chiar în timp ce peretele bulei se extinde, în mai puţin de cîteva microsecunde. De data aceasta nu va fi o cădere lină către o implozie finală; în loc de aceasta se produce o anihilare aproape imediată a tot ce există atunci cînd interiorul bulei cade într-o implozie rapidă către o singularitate spaţio-temporală. Pe scurt, o implozie instantanee. „Aceasta este descurajant" — remarcă autorii într-o declaraţie magistrală şi continuă: „Posibilitatea de a vieţui într-un vid fals nu a fost niciodată ceva plăcut de contemplat. Dezintegrarea vidului reprezintă ultima catastrofă ecologică; ...după aceasta nu numai viaţa, aşa cum o cunoaştem, devine imposibilă, dar şi chimia, aşa cum o cunoaştem. Totuşi, am putea să extragem o reconfortare stoică din posibilitatea ca în decursul timpului noul vid să susţină dacă nu viaţa aşa cum o cunoaştem noi, cel puţin unele structuri capabile de a cunoaşte bucuria. Această posibilitate a fost acum eliminată."

Consecinţele îngrozitoare ale dezintegrării vidului au devenit subiectul multor discuţii între fizicieni şi astronomi, după publicarea lucrării lui Coleman şi De Luccia. Într-un studiu ce a urmat, publicat în revista *Nature*, cosmologul Michael Turner şi fizicianul Frank

Wilczek au ajuns la concluzia apocaliptică: „Din punct de vedere al microfizicii, atunci, este de conceput că vidul nostru este metastabil... fără a avertiza, o bulă de vid adevărat poate să nucleeze undeva în univers şi să se mişte în exterior cu viteza luminii."

Curînd după ce a apărut lucrarea lui Turner şi Wilczek, Piet Hut şi Martin Rees, şi ei publicînd în *Nature*, au ridicat spectrul alarmant că organizarea atomică a unei bule de vid ce distruge universul ar putea fi declanşată în mod necugetat de înşişi fizicienii specialişti în particule. Îngrijorarea constă în faptul că coliziunea de energie foarte înaltă a particulelor subatomice ar putea crea condiţiile — doar pentru o clipă într-o foarte mică regiune a spaţiului — care ar favoriza dezintegrarea vidului. O dată ce tranziţia a avut loc, chiar la o scară microscopică, nu ar mai exista nici o stavilă în calea formării din bule nou apărute a unui balon de proporţii astronomice. Ar trebui oare să interzicem noua generaţie de acceleratoarele de particule?

Hut şi Rees ne-au dat asigurări pozitive. Ei au scos în evidenţă faptul că radiaţiile cosmice realizează energii mai înalte decît putem noi face în interiorul acceleratoarelor noastre de particule şi că aceste radiaţii cosmice au ciocnit nuclee în atmosfera terestră de miliarde de ani, fără a declanşa dezintegrarea vidului. Pe de altă parte, printr-o îmbunătăţire cu un factor de ordinul sutelor în energiile acceleratorului, am putea fi capabili să creăm coliziuni cu energie mai înaltă decît oricare s-ar fi datorat impactului razelor cosmice cu Pămîntul. Totuşi adevărata problemă nu este dacă formarea bulelor ar putea avea loc pe Pămînt, ci dacă a avut loc oriunde în universul observabil şi în orice moment după explozia iniţială. Hut şi Rees au subliniat că sînt foarte rare coliziunile frontale între două raze cosmice. Ei au calculat că în decursul istoriei universului tre-

buie să se fi produs evenimente de coliziuni cu energii de un miliard de ori mai mari decît cele produse în acceleratoarele existente. De aceea nu avem nevoie încă de o autoritate regulatoare.

În mod paradoxal, acelaşi fenomen al formării bulei de vid, care într-un context ar putea ameninţa însăşi existenţa cosmosului, într-un context puţin diferit se dovedeşte a fi unica sa salvare realizabilă. O cale sigură de a scăpa de moartea universului este să creăm unul nou şi să ne adăpostim în el. Aceasta ar putea să sune ca ultimul cuvînt într-o speculaţie exaltată, dar tema „universului copil" a devenit una din cele mai discutate în ultimii ani şi are adepţi serioşi. Subiectul a fost pus în discuţie pentru prima oară de un grup de fizicieni japonezi, în 1981; ei au studiat un model matematic simplu de comportament al unei mici bule de vid fals, înconjurată de vid adevărat. Situaţia este de aceea exact inversă celei discutate anterior. Ceea ce s-a prezis este că vidul fals se va umfla în maniera descrisă în capitolul 3, răspîndindu-se rapid în univers printr-o explozie iniţială. Mai întîi se pare că inflaţia bulei de vid fals trebuie să determine peretele bulei să se extindă, astfel încît regiunea vidului fals să crească în defavoarea celei de vid adevărat. Dar acest lucru contravine aşteptării că vidul *adevărat* de energie joasă este cel care ar trebui să înlocuiască vidul fals de energie mai înaltă şi nu invers.

În mod ciudat, văzută din regiunea vidului adevărat, regiunea din spaţiu ocupată de bula de vid fals nu pare a-şi mări volumul. De fapt, ea seamănă mai mult cu o gaură neagră. Această situaţie este asemănătoare maşinii timpului, Tardis, care pare mai mare din interior decît din exterior. Un observator ipotetic situat în interiorul bulei de vid fals ar vedea universul umflîndu-se la proporţii imense, dar privit din exteriorul bulei el rămîne compact.

Un fel de a privi această stare specială de lucruri este prin analogie cu o foaie de cauciuc care se dezumflă într-un loc şi se umflă în altul (vezi fig. 10.4). Balonul formează un fel de univers copil legat de universul mamă printr-un cordon ombilical — sau o gaură de vierme. Gîtul găurii de vierme apare din universul mamei ca o gaură neagră. Această configuraţie este de fapt instabilă. Gaura neagră se evaporă rapid datorită efectului Hawking, dispărînd complet din universul mamă. Ca rezultat, gaura de vierme se îngustează şi universul copil încetează de a fi conectat la universul mamă pentru a deveni un nou univers independent ce îşi intră în drepturi. Dezvoltarea universului copil după această „înmugurire" are loc asemănător cu cea a universului nostru: o scurtă perioadă de inflaţie urmată de obişnuita explozie fierbinte. Modelul are o implicaţie evidentă şi anume faptul că universul nostru s-a născut exact în acest mod, ca progenitură a altui univers.

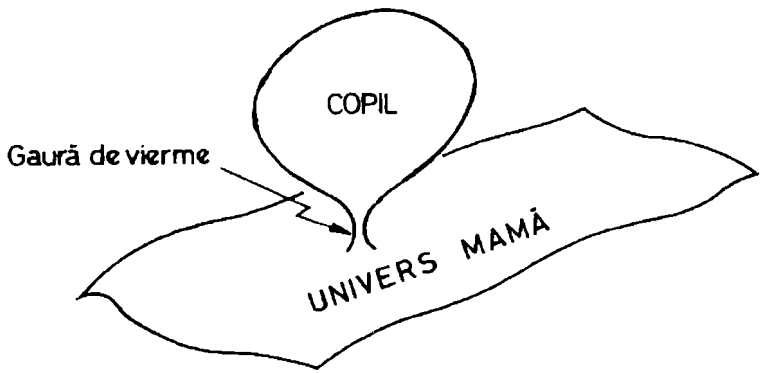


FIGURA 10.4 O bulă de spaţiu se umflă din universul mamă pentru a forma un univers copil, legat de mamă printr-o gaură ombilicală de vierme. Din punctul de vedere al universului mamă, gura găurii de vierme ar apărea ca o gaură neagră. Pe măsură ce gaura neagră dispare, gîtul găurii de vierme se îngustează, realizînd astfel desprinderea universului copil, care de atunci încolo duce o existenţă independentă ca un univers în toate drepturile.

Alan Guth, fondatorul teoriei inflaţioniste, şi colegii săi au investigat dacă scenariul anterior permite posibilitatea ciudată de creare a unui nou univers în laborator. Contrar cazului groaznic al dezintegrării vidului fals într-o bulă de vid adevărat, crearea unei bule de vid fals înconjurată de vid adevărat nu ameninţă existenţa întregului univers. Într-adevăr, deşi experimentul ar putea provoca o explozie iniţială, ea ar fi complet limitată la interiorul unei mici găuri negre ce dispare curînd. Noul univers şi-ar crea *propriul* spaţiu, nu ar consuma din al nostru.

Deşi ideea rămîne pur ipotetică şi bazată în întregime pe teoretizare matematică, unele studii sugerează că crearea unui nou univers în acest fel poate fi posibilă prin concentrarea unor mari cantităţi de energie într-o manieră aranjată cu grijă. În viitorul foarte îndepărtat, atunci cînd propriul nostru univers ar deveni de nelocuit sau s-ar apropia de marea implozie, urmaşii noştri s-ar putea decide „să-l părăsească definitiv" iniţiind procesul de „înmugurire" şi apoi scormonind prin ombilicul găurii de vierme în universul ce se află alături, înainte ca ea să se îngusteze. Aceasta trebuie să fie ultima treaptă a emigrării. Cu siguranţă, nimeni nu are nici o idee cum sau dacă aceste fiinţe cutezătoare ar putea realiza această ispravă. În caz extrem, călătoria prin gaura de vierme ar trebui să fie foarte neconfortabilă, dacă gaura neagră în care ei ar trebui să se scufunde n-ar fi foarte mare.

Dar, făcînd abstracţie de aceste lucruri, chiar posibilitatea existenţei universurilor copii deschide perspectiva imortalităţii autentice nu numai pentru descendenţii noştri, dar şi pentru universuri. Mai bine decît să ne gîndim la viaţa şi moartea *universului*, am putea să ne gîndim la o familie de universuri, multiplicîndu-se *la infinit*, fiecare dînd naştere la noi gene-

raţii de universuri, poate chiar la mulţimi de universuri. Cu o asemenea fecunditate cosmică, mulţimea universurilor, care ar trebui numită „metavers", ar putea să nu aibă nici început, nici sfîrşit. Fiecare univers individual ar avea o naştere, o evoluţie şi o moarte în maniera descrisă în capitolele precedente ale cărţii, dar colecţia ca întreg ar exista mereu.

Acest scenariu pune întrebarea dacă crearea unui univers ca al nostru ar fi o chestiune naturală (analogă naşterii naturale a unui copil) sau rezultatul unei manipulări deliberate (un copil născut „în eprubetă"). Ne putem imagina că o comunitate de fiinţe suficient de avansată şi de altruistă, trăind într-un univers mamă, ar putea decide să creeze universuri copii, nu pentru a-şi găsi o cale de scăpare pentru propria supravieţuire, ci pur şi simplu pentru a perpetua posibilitatea vieţii existînd undeva, dat fiind faptul că propriul lor univers este condamnat. Aceasta înlătură necesitatea de a ataca chestiunea formidabilelor obstacole ce stau în faţa oricărei încercări de a construi o gaură de vierme traversabilă în universul copil.

Nu este clar pînă la ce nivel universul copil ar purta amprentele genetice ale mamei. Fizicienii nu înţeleg încă de ce variatele forţe ale naturii şi particule ale materiei au proprietăţile pe care le au. Pe de o parte, aceste proprietăţi ar putea să facă parte din legile naturii, fixate o dată pentru totdeauna în orice univers supus acestor legi. Pe de altă parte, unele din aceste proprietăţi pot fi rezultatul unor accidente de evoluţie. De exemplu, ar putea exista mai multe stări de vid „adevărat", toate cu energii identice sau aproape identice. S-ar întîmpla ca atunci cînd vidul fals se dezintegrează către sfîrşitul perioadei inflaţioniste, el să aleagă la întîmplare una din aceste multiple stări de vid posibile. În ceea ce priveşte fizica universului, alegerea stării de vid va dicta multe din pro-

prietăţile particulelor şi ale forţelor ce acţionează între ele şi ar putea chiar dicta numărul dimensiunilor spaţiale. Deci un univers copil ar putea avea proprietăţi complet diferite faţă de mama sa. S-ar putea ca viaţa să fie posibilă doar într-un număr foarte mic de universuri copil, în care fizica să se asemene destul de mult cu cea a propriului nostru univers. Sau poate există un fel de principiu al eredităţii care asigură faptul că universurile copii moştenesc îndeaproape proprietăţile universurilor mamă, la adăpost de mutaţii ciudate, sinuoase. Fizicianul Lee Smolin a sugerat că ar putea exista chiar un tip de evoluţie darwinistă ce ar opera printre universuri care, în mod indirect, să încurajeze naşterea vieţii şi a conştiinţei. Chiar mai interesantă este posibilitatea ca universurile să fie create pe calea manipulării inteligente într-un univers mamă şi să fie dotate în mod deliberat cu proprietăţile necesare pentru a crea viaţa şi conştiinţa.

Nici una din aceste idei nu reprezintă mult mai mult decît o speculaţie, dar tema cosmologiei este încă foarte tînără ca ştiinţă. Speculaţiile fantastice analizate pînă aici servesc cel puţin ca antidot la prognozele sumbre despre care am vorbit în capitolele precedente. Ele arată că, chiar dacă urmaşii noştri s-ar afla într-o zi în faţa ultimelor trei minute, s-ar putea să existe mereu undeva un anumit tip de fiinţe conştiente.

CAPITOLUL 11

Lumi fără sfîrşit?

Ideile bizare expuse la finele ultimului capitol nu sînt singurele posibilităţi ce au fost disputate în căutarea unei căi de a evita dezastrul cosmic. De cîte ori ţin o conferinţă despre sfîrşitul universului, cineva mă întreabă despre modelul ciclic. Ideea este următoarea: Universul se extinde pînă la o dimensiune maximă, apoi se contractă către marea implozie, dar în loc de a se anula complet, într-un fel el „face un salt" şi porneşte către un alt ciclu de expansiune şi contracţie (vezi fig. 11.1). Acest proces ar putea continua veşnic, caz în care universul nu ar avea nici început, nici sfîrşit real, deşi fiecare ciclu în parte ar fi marcat de un început şi un sfîrşit distinct. Este o teorie la care aderă mai ales cei care au fost influenţaţi de mitologia hindusă şi budistă, în care ciclurile naşterii şi morţii, creaţiei şi distrugerii sînt proeminente.

FIGURA 11.1 Modelul universului ciclic. Universul pulsează în dimensiune într-un mod ciclic între stări foarte dense şi stări foarte rarefiate. Fiecare ciclu începe cu o explozie iniţială şi se termină cu o mare implozie şi este aproximativ simetric în timp.

Am subliniat două scenarii ştiinţifice foarte diferite pentru sfîrşitul universului. Fiecare produce înfiorare în felul său. Perspectiva dispariţiei în întregime a cosmosului într-o implozie finală este alarmantă, oricît de îndepărtat în viitor s-ar afla acest eveniment. Pe de altă parte, un univers cufundat pe vecie în gol şi beznă după o durată finită de activitate prodigioasă este profund deprimant. Faptul că fiecare model poate furniza superfiinţelor posibilitatea de a realiza o putere nelimitată de procesare de informaţie reprezintă o slabă speranţă ce nu prea ţine de cald unor fiinţe ca noi, cu sînge cald, aparţinînd speciei *homo sapiens.*

Atracţia modelului ciclic se datorează faptului că el evită spectrul totalei anihilări, fără a-l înlocui cu eterna degenerare şi descompunere. Pentru a evita inutilitatea repetiţiei fără sfîrşit, este important ca ciclurile să fie oarecum diferite unele faţă de altele. Într-o versiune populară a teoriei, fiecare ciclu nou răsare ca pasărea phoenix din înspăimîntătoarea moarte a precedentului. Din această condiţie iniţială, îşi dezvoltă noi sisteme şi structuri şi îşi explorează propriile resurse bogate înainte de a şterge totul cu buretele şi a merge încă o dată către următoarea mare implozie.

Oricît de atrăgătoare ar părea această teorie, ea suferă din păcate de serioase probleme fizice. Una dintre ele ar fi aceea de a identifica un proces plauzibil care ar permite universului ce colapsează să sară la o anumită densitate foarte mare, în loc de a se anihila în marea implozie. Trebuie să fie un fel de forţă antigravitaţională care devine copleşitor de mare în stadiile tîrzii ale colapsului, astfel încît să inverseze momentul imploziei şi să se opună formidabilei forţe distrugătoare a gravitaţiei. Nici o astfel de forţă nu este cunoscută pînă acum, iar dacă ar exista ea ar avea proprietăţi foarte stranii.

Cititorul îşi poate reaminti că exact o astfel de mare forţă repulsivă este presupusă în teoria inflaţionistă a exploziei iniţiale. Totuşi, să ne amintim că starea de vid excitat ce produce forţa inflaţionistă este foarte instabilă şi curînd se dezintegrează. Deşi este de conceput că micuţul univers ce se naşte ar fi avut originea într-o astfel de stare instabilă este totuşi altceva a postula că un univers ce se micşorează de la o condiţie macroscopică complicată ar putea reuşi să recapete peste tot starea de vid excitat. Situaţia pare asemănătoare cu a balansa un creion pe vîrful său. În curînd creionul se răstoarnă; asta este uşor. Mult mai greu ar fi să lovim creionul ca să ajungă încă o dată înapoi pe vîrf.

Chiar presupunînd că asemenea probleme pot fi într-un fel depăşite, rămîn dificultăţi serioase legate de ideea universului ciclic. Pe una dintre acestea am discutat-o în capitolul 2. Sistemele supuse proceselor ireversibile care au o viteză finită vor tinde către starea lor finală după o perioadă finită de timp. Acest principiu a condus la prezicerea morţii termice a universului în secolul al XIX-lea. Introducerea ciclurilor cosmice nu înlătură dificultatea. Universul poate fi comparat cu un ceas care-şi încetineşte mereu mersul. Activitatea lui va înceta inevitabil pînă la urmă dacă nu va fi întors sau reîncărcat. Dar ce mecanisme ar putea întoarce ceasul cosmic, fără ca el însuşi să fie supus schimbării ireversibile?

La prima vedere, faza de colaps a universului pare o schimbare totală a proceselor fizice ce au loc în faza de expansiune. Galaxiile ce se dispersează sînt aduse iar împreună, radiaţia de fond care se răceşte este reîncălzită, iar elementele complexe sînt descompuse, transformate într-o „ciorbă" de particule elementare. Starea universului chiar înainte de marea implozie prezintă o puternică asemănare cu starea sa de imediat după

explozia inițială. Totuși impresia de simetrie este doar superficială. Un indiciu în acest sens este faptul că astronomii ce vor trăi în timpul procesului invers, cînd expansiunea se va transforma în contracție, vor continua să vadă galaxiile aflate departe îndepărtîndu-se multe miliarde de ani. Universul pare ca și cum încă s-ar extinde, deși el se contractă. Iluzia se explică prin decalajul în aparițiii datorat vitezei finite a luminii.

În anii '30, cosmologul Richard Tolman a arătat că acest decalaj distruge aparenta simetrie a universului ciclic. Motivul este simplu. Începutul universului are loc cu foarte multă radiație termică rămasă de la explozia inițială. În timp, lumina stelelor crește această radiație, astfel încît după cîteva miliarde de ani este aproape tot atîta energie în lumina acumulată a stelelor ce se răspîndește în spațiu cîtă este și în radiația de fond. Aceasta înseamnă că universul se apropie de marea implozie cu mult mai multă energie de radiație împrăștiată peste tot decît avea imediat după explozia inițială, astfel încît în momentul cînd universul se va contracta în cele din urmă înapoi la densitatea pe care o are azi, el va fi ceva mai fierbinte.

Energia termică suplimentară este compensată de conținutul material al universului, prin formula lui Einstein $E = mc^2$. În interiorul stelelor unde se produce energia termică, elemente ușoare ca hidrogenul se transformă în elemente grele, cum este fierul. Un nucleu de fier conține în mod normal 56 protoni și 30 neutroni. Am putea presupune că un asemenea nucleu ar trebui de aceea să aibă masa a 56 protoni și 30 neutroni, dar nu este așa. Nucleul format este cu aproape un procent mai ușor decît suma maselor particulelor individuale. Masa care „lipsește" se datorează marii energii de legătură a nucleului produsă de puternica forță nucleară, iar masa reprezentată de această energie este eliberată pentru a compensa lumina stelară.

Rezultatul tuturor acestor lucruri este un transfer net de energie de la materie către radiaţie. Acesta are un efect important asupra felului în care universul se contractă, deoarece forţa de atracţie gravitaţională a radiaţiei este diferită de cea a materiei cu aceeaşi energie de masă. Tolman a arătat că radiaţia suplimentară în faza de contracţie determină universul să colapseze mai repede. Dacă printr-un anume mijloc s-ar produce un salt, universul ar începe să se extindă tot mai repede. Cu alte cuvinte, fiecare mare explozie ar fi mai mare decît precedenta. Ca urmare, universul s-ar extinde pînă la o dimensiune din ce în ce mai mare la fiecare nou ciclu, astfel ciclurile vor fi treptat tot mai mari şi mai lungi.

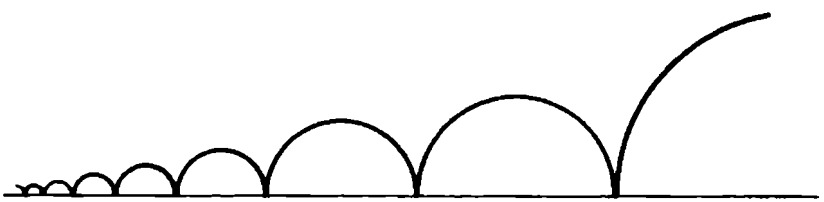


FIGURA 11.2 Procesele ireversibile determină ciclurile cosmologice să crească mereu, distrugînd astfel adevărata ciclicitate.

Creşterea ireversibilă a ciclurilor cosmice nu este un mister. Este un exemplu privind consecinţele inevitabile ale celei de-a II-a legi a termodinamicii. Radiaţia ce se acumulează reprezintă o creştere de entropie, care se manifestă din punct de vedere gravitaţional prin cicluri din ce în ce mai mari. Totuşi pune capăt ideii de adevărată ciclicitate: în mod clar universul evoluează în timp. Către trecut, ciclurile merg împreună în cascade spre un început complicat şi dezordonat, în timp ce ciclurile viitoare se extind fără limite, pînă cînd devin atît de lungi încît orice ciclu ar fi în mare parte de

nedistins de scenariul morţii termice din modelele de expansiune permanentă.

După apariţia lucrării lui Tolman, cosmologii au fost capabili să identifice alte procese fizice care sparg simetria fazelor de expansiune şi contractare ale fiecărui ciclu. Un exemplu este formarea găurilor negre. În imaginea standard, universul începe fără nici o gaură neagră, dar o dată cu trecerea timpului, colapsul stelelor şi alte procese determină formarea lor. Pe măsură ce galaxiile se dezvoltă, apar din ce în ce mai multe găuri negre. În timpul stadiilor tîrzii ale colapsului, comprimarea va stimula formarea şi mai multor găuri negre. Unele dintre găurile negre se pot contopi pentru a forma găuri mai mari. Organizarea gravitaţională a universului în preajma marii implozii este de aceea mult mai complicată — într-adevăr el va fi mult mai plin de găuri — decît a fost în apropierea exploziei iniţiale. Dacă universul ar trebui să facă un salt, ciclul următor ar începe cu mult mai multe găuri negre decît acesta.

Concluzia ce pare inevitabilă este că orice univers ciclic ce permite structurilor şi sistemelor fizice să se propage de la un ciclu la altul nu poate evita influenţele degenerescente ale celei de-a II-a legi a termodinamicii. Va mai exista totuşi o moarte termică. O cale pentru a evita această tristă concluzie ar fi să presupunem că condiţiile fizice la salt sînt atît de extreme încît nici o informaţie despre ciclurile precedente nu ar putea pătrunde pînă la următorul. Toate obiectele fizice existente înainte sînt distruse, toate influenţele — anihilate. De fapt, universul renaşte în întregime din nimic.

Este greu totuşi de văzut ce atracţie prezintă acest model. Dacă fiecare ciclu este deconectat de celelalte din punct de vedere fizic, ce sens mai are să spunem că ciclurile se succed sau reprezintă *acelaşi* univers rezistînd într-un fel? Ciclurile sînt efectiv universuri distincte,

separate şi ar putea fi privite la fel de bine ca existînd în paralel mai curînd decît unul după altul. Situaţia aminteşte de doctrina reîncarnării, unde persoana renăscută nu-şi aminteşte de vieţile precedente. În ce sens putem oare spune că este vorba de *aceeaşi* persoană reîncarnată?

O altă posibilitate este aceea ca a II-a lege a termodinamicii să fie oarecum violată, astfel încît „ceasul să fie reîntors" la salt. Ce înseamnă oare pentru stricăciunile cauzate de a II-a lege ca ele să fie anulate? Să luăm un exemplu simplu privind modul de a lucra al legii a II-a: evaporarea parfumului dintr-o sticlă. O schimbare de şansă pentru parfum ar antrena o conspiraţie gigantică de organizare în care fiecare moleculă de parfum din cameră s-ar întoarce în sticlă. „Filmul" s-ar derula invers. Din a II-a lege a termodinamicii obţinem distincţia între trecut şi viitor — „săgeata timpului". O violare a legii a II-a conduce de aceea la o răsturnare a timpului.

Este, fireşte, într-un fel o evaziune banală de la moartea cosmică faptul că putem presupune că timpul e gata să îşi schimbe sensul cînd se aude bubuitura condamnării. Cînd procesul devine prea dur, se începe pur şi simplu derularea inversă a marelui film cosmic!

Oricum, ideea i-a atras pe unii cosmologi. În anii '60, astrofizicianul Thomas Gold a sugerat că timpul ar putea curge în sens invers în faza de contracţie a unui univers ce se recontractă. El a arătat că o astfel de inversare de sens ar include funcţiile creierului oricăror fiinţe ce ar trăi în acel moment, deci ar folosi pentru a schimba simţul lor subiectiv al timpului. De aceea, locuitorii din faza de contracţie nu ar vedea totul în jurul lor „mergînd înapoi", ci ar experimenta curgerea evenimentelor înainte la fel ca şi noi. De exemplu, ei ar percepe universul în expansiune, nu în contracţie. În

ochii lor, faza *noastră* de univers ar fi fost cea de contracţie şi procesele creierului nostru ar fi fost cele ce mergeau înapoi.

În anii '80, Stephen Hawking s-a jucat şi el cu ideea schimbării sensului timpului în univers pentru o vreme, pentru a o abandona apoi cînd a realizat că a fost „cea mai mare greşeală" a sa. La început, Hawking a crezut că mecanica cuantică aplicată unui univers ciclic implică simetria exactă a timpului. Se pare totuşi că nu se întîmplă aşa, cel puţin în formularea standard a mecanicii cuantice. De curînd, fizicienii Murray Gell-Mann şi James Hartle au pus problema unei modificări a legilor mecanicii cuantice în care simetria timpului este pur şi simplu *impusă* şi apoi s-au întrebat dacă această stare de fapt ar avea vreo consecinţă observabilă la epoca noastră cosmică. Pînă acum răspunsul nu este clar.

O cale foarte diferită de a evita condamnarea cosmică a fost propusă de fizicianul rus Andrei Linde. Ea se bazează pe o elaborare a teoriei universului inflaţionist discutată în capitolul 3. În scenariul original al universului inflaţionist s-a presupus că starea cuantică a universului foarte timpuriu corespunde unui vid foarte excitat care avea ca efect o expansiune într-o creştere temporar impetuoasă. În 1983 Linde a sugerat, în loc de aceasta, că starea cuantică a universului timpuriu ar putea diferi din loc în loc într-un mod haotic: energie joasă aici, excitaţie moderată acolo, excitaţie foarte mare în unele regiuni. Acolo unde ar exista excitaţie s-ar produce inflaţie. Mai mult, calculele lui Linde asupra comportamentului stării cuantice au arătat în mod clar că stările foarte excitate se extind cel mai repede şi se dezintegrează cel mai încet, astfel încît cu cît este mai excitată starea într-o anume regiune a spaţiului, cu atît se extinde universul mai mult în acea regiune. Este clar că, după foarte scurt timp, regiunile spaţiului unde

energia a fost în mod accidental cea mai mare şi inflaţia a avut loc cel mai rapid ar fi înghiţit cel mai mult şi ar fi ocupat partea leului din spaţiul total. Linde compara situaţia cu evoluţia darwinistă sau cu cea economică. O reuşită fluctuaţie cuantică spre o stare foarte excitată, deşi înseamnă un împrumut masiv de energie, este imediat răsplătită de o creştere uriaşă a volumului acelei regiuni. Astfel, regiunile care împrumută mult, superinflaţioniste devin curînd predominante.

Ca rezultat al inflaţiei haotice, universul va fi divizat într-un roi de miniuniversuri, sau bule, unele aflate într-o inflaţie nebunească, altele neumflîndu-se deloc. Deoarece unele regiuni, pur şi simplu ca rezultat al fluctuaţiilor întîmplătoare, vor avea o energie de excitaţie *foarte* mare, va avea loc mult mai multă inflaţie în acele regiuni decît s-a presupus în teoria originară. Dar deoarece acestea sînt exact regiunile care se umflă cel mai mult, un punct selecţionat la întîmplare în universul postinflaţionist ar fi în mod aproape sigur localizat într-o astfel de regiune foarte inflaţionistă. Astfel propria noastră localizare în spaţiu se găseşte probabil adînc în interiorul unei regiuni superinflaţioniste. Linde a calculat că astfel de „bule mari" pot să fi inflaţionat cu un factor de 10 la puterea 10^8, ceea ce înseamnă unu urmat de o sută de milioane de zerouri!

Propriul nostru megadomeniu nu ar fi decît una din numărul infinit de bule foarte umflate, astfel încît la o scară enormă universul ar părea încă foarte haotic. În interiorul bulei noastre — care se întinde la o distanţă uriaşă dincolo de universul observabil în mod curent — materia şi energia sînt distribuite aproximativ uniform, dar dincolo de bula noastră se găsesc alte bule, ca şi regiuni aflate încă în procesul inflaţionist. De fapt, în modelul lui Linde inflaţia nu încetează niciodată. Există întotdeauna regiuni din spaţiu unde ea are loc,

unde se formează noi bule, în timp ce altele mor după ce şi-au consumat ciclul de viaţă. Astfel, aceasta este o formă de univers etern, asemănător cu teoria universurilor copii dezbătută în capitolul precedent, unde viaţa, speranţa şi universurile izvorăsc permanent. Nu există nici un sfîrşit al producerii de noi universuri-bule prin inflaţie, după cum probabil nu există nici un început, deşi acest lucru este curent controversat.

Oare existenţa altor bule oferă descendenţilor noştri o ancoră de salvare? Pot ei evita condamnarea cosmică — sau mai curînd condamnarea bulei — prin transferul veşnic pe o bulă mai tînără, la timpul potrivit? Linde a pus această întrebare într-o lucrare înflăcărată despre „viaţa după inflaţie" publicată în revista *Physics Letters* în 1989. „Aceste rezultate înseamnă că viaţa într-un univers inflaţionist nu se va sfîrşi niciodată", a scris el. „Din păcate, această concluzie nu înseamnă automat că putem fi foarte optimişti în legătură cu viitorul omenirii." Linde a concluzionat că oricare dintre domeniile particulare, sau bule, va deveni încetul cu încetul de nelocuit: „Singura posibilă strategie de supravieţuire pe care o vedem în acest moment este să călătorim de la domeniile vechi către cele noi."

Lucrul descurajator este că în versiunea teoriei inflaţioniste a lui Linde, mărimea unei bule tipice este enormă. El a calculat că bula cea mai apropiată situată dincolo de a noastră ar putea fi la o distanţă care, în ani lumină, trebuie să se exprime prin unu urmat de mai multe milioane de zerouri, un număr atît de mare încît ar avea nevoie de o întreagă enciclopedie numai pentru a fi scris! Chiar aproape de viteza luminii, timpul necesar pentru a ajunge la o altă bulă ar fi un număr similar de ani, dacă nu cumva printr-un noroc extraordinar s-ar întîmpla să ne aflăm la marginea propriei noastre bule şi chiar în aceste fericite împrejurări, arată

Linde, am reuşi doar dacă domeniul nostru va continua să se extindă într-o manieră previzibilă. Cel mai mic efect fizic ce ar fi neglijabil la epoca actuală ar putea ajunge determinant pentru modul de expansiune a universului o dată ce materia şi radiaţia ce domină în prezent se diluează la infinit. De exemplu, ar putea rămîne în univers o forţă inflaţionistă foarte slabă care în prezent este total înecată de efectele gravitaţionale ale materiei, dar care, dat fiind imensitatea de timp necesar fiinţelor pentru a evada din bula noastră, ar putea pînă la urmă să se facă simţită. În acest caz universul ar putea să-şi reînceapă inflaţia după o perioadă destul de îndelungată, dar nu în maniera frenetică a exploziei iniţiale, ci foarte încet — un fel de imitaţie palidă a exploziei iniţiale. Totuşi, acest scîncet slab, oricît de imperceptibil, ar continua mereu. Deşi creşterea universului s-ar accelera doar cu o viteză mică, simplul fapt că ea se *accelerează* are o consecinţă fizică crucială, care este crearea unui orizont al evenimentelor în interiorul bulei care este pe dinafară ca interiorul unei găuri negre şi o capcană la fel de eficientă. Orice fiinţe supravieţuitoare ar fi înmormîntate adînc în interiorul bulei, fără posibilitatea de a fi ajutate, deoarece cu cît ele ar încerca să ajungă mai repede la marginea bulei, cu atît ea s-ar îndepărta mai repede ca rezultat al inflaţiei. Calculul lui Linde arată de aceea cum soarta finală a omenirii şi a descendenţilor noştri poate depinde de efecte fizice atît de mici că nu putem avea o speranţă reală de a le detecta înainte ca ele să se manifeste din punct de vedere cosmologic.

Cosmologia lui Linde este din unele puncte de vedere tributară vechii teorii a universului staţionar, la modă în anii '50 şi începutul anilor '60 şi care încă reprezintă cea mai simplă şi convingătoare propunere de a evita sfîrşitul universului. În versiunea sa originară

datorată lui Herman Bondi şi Thomas Gold, teoria susţine cu putere că universul rămîne pentru totdeauna neschimbat la o scară mare. De aceea el nu are nici început, nici sfîrşit. În timp ce universul se extinde, se creează în mod continuu materie nouă pentru a umple golurile şi a menţine o densitate totală constantă. Soarta oricărei galaxii este asemănătoare cu ceea ce am descris în capitolele precedente: naştere, evoluţie şi moarte. Dar tot mai multe galaxii se formează mereu din materialul nou creat, care este furnizat la nesfîrşit. Aspectul general al universului ca întreg arată de aceea identic de la o epocă la alta, cu acelaşi număr total de galaxii într-un volum dat al spaţiului, format dintr-un amestec de vîrste diferite. Conceptul unui univers în regim staţionar nu mai are nevoie să explice cum a luat naştere universul din nimic şi combină imortalitatea cosmică cu o varietate interesantă prin schimbări evolutive. De fapt el trece dincolo de aceasta şi propune un cosmos veşnic tînăr, pentru că, deşi galaxiile individuale mor încet, universul ca întreg nu îmbătrîneşte niciodată. Descendenţii noştri nu vor trebui să scormonească niciodată în căutarea unor rezerve din ce în ce mai rare de energie, deoarece noua materie o produce gratuit. Locuitorii se mută doar într-o galaxie mai tînără cînd cea veche rămîne fără combustibil. Şi acest lucru poate continua la infinit cu aceeaşi vigoare, diversitatea şi activitatea fiind menţinute pentru eternitate.

Există totuşi unele cerinţe fizice necesare pentru a face teoria să funcţioneze. Universul îşi dublează volumul o dată la fiecare cîteva miliarde de ani, datorită expansiunii. Pentru a se menţine densitatea constantă, este necesar să se creeze o cantitate de aproximativ 10^{50} tone de materie nouă de-a lungul acestei perioade. Aceasta pare mult, dar de fapt în medie înseamnă doar apariţia unui atom pe secol într-o regiune din spaţiu

egală ca mărime cu hangarul unei aeronave. Nu este probabil să observăm un astfel de fenomen. O problemă mai serioasă priveşte natura proceselor fizice responsabile de crearea materiei în această teorie. Am dori să ştim de unde vine energia care furnizează masa suplimentară şi în ce mod acest miraculos izvor de energie reuşeşte să fie nelimitat. Problema a fost abordată de Fred Hoyle care, împreună cu colaboratorul său, Jayant Narlikar, a dezvoltat teoria universului staţionar pînă în cele mai mici detalii. Ei au propus un nou tip de cîmp — un cîmp de creaţie — pentru a furniza energie. Cîmpul de creaţie însuşi a fost postulat ca avînd energie negativă. Apariţia fiecărei noi particule de materie de masă *nu* a avut ca efect o contribuţie de energie $-mc^2$ la cîmpul de creaţie.

Deşi cîmpul de creaţie furniza o soluţie tehnică pentru problema creaţiei, el a lăsat multe întrebări fără răspuns. Părea de asemenea mai curînd *ad hoc*, nefiind vizibile şi alte manifestări ale misteriosului cîmp. Mai serios, evidenţa observaţională începe să se ridice împotriva teoriei universului staţionar prin ani '60, cea mai importantă fiind descoperirea radiaţiei termice de fond. Acest fond uniform primeşte o interpretare de-a gata, ca fiind o relicvă a exploziei iniţiale fierbinţi, dar el este greu de explicat în mod convingător prin modelul menţionat. În plus, cercetările profunde ale cerului, cu galaxiile şi radiogalaxiile sale, au evidenţiat fără dubiu că universul evoluează la scară mare. Cînd acest lucru a devenit clar, Hoyle şi colaboratorii săi au abandonat versiunea simplă a teoriei universului staţionar, deşi ea îşi mai face din cînd în cînd reapariţia în versiuni mai complicate.

În afară de problemele fizice şi observaţionale, teoria universului staţionar ridică anumite dificultăţi filozofice ciudate. De exemplu, dacă descendenţii noştri

au într-adevăr la dispoziţie timp şi resurse *infinite*, atunci dezvoltarea lor tehnologică nu poate fi limitată. Ei ar fi liberi să se împrăştie în întregul univers, preluînd controlul asupra unor volume de spaţii din ce în ce mai mari. Astfel, în viitorul îndepărtat o mare porţiune din univers ar fi tehnologizată. Dar se presupune că natura pe scară largă a universului nu se schimbă în timp, aşa încît afirmaţiile teoriei ne obligă să concluzionăm că universul pe care-l vedem astăzi este *deja* tehnologizat. Deoarece condiţiile fizice în univers sînt aceleaşi în toate epocile, şi fiinţe inteligente trebuie să apară în toate timpurile. Şi deoarece această stare de lucruri a existat dintotdeauna, ar trebui să existe nişte comunităţi de fiinţe care să se fi aflat în jurul nostru de destul de mult timp şi să se fi extins, ocupînd un larg volum de spaţiu — inclusiv regiunea noastră din univers — şi tehnologizîndu-l. Această concluzie nu este ocolită de presupunerea că fiinţele inteligente nu au în general dorinţa de a coloniza universul. Este suficient să apară doar o singură astfel de comunitate pentru a valida teoria. Este un alt caz al vechii ghicitori ce spune că într-un univers infinit orice lucru care este cît de cît posibil *trebuie* să se întîmple cîndva şi să se întîmple infinit de des. Urmărind logica acestei concluzii amare, teoria universului staţionar prezice că procesele universului sînt identice activităţilor tehnologice ale locuitorilor săi. Ceea ce numim natură este, de fapt, activitatea unei superfiinţe sau a unei comunităţi de superfiinţe. Aceasta pare o versiune a demiurgului lui Platon (o zeitate ce lucrează în limitele legilor fizice deja stabilite) şi este interesant că Hoyle, în teoriile sale cosmologice ulterioare, susţine în mod explicit o astfel de superfiinţă.

Orice discuţie despre sfîrşitul universului ne pune în faţa problemei scopului! Am arătat deja că perspectiva unui univers pe moarte l-a convins pe Bertrand

Russell asupra inutilităţii finale a existenţei. Acest sentiment a avut ecou în ultimii ani prin Steven Weinberg, a cărui carte *The First Three Minutes* culminează cu concluzia clară: „cu cît universul pare mai comprehensibil, cu atît el pare şi mai lipsit de sens". Am pus în discuţie faptul că poate frica iniţială de moartea termică înceată a cosmosului a fost exagerată sau chiar greşită, deşi moartea bruscă printr-o mare implozie rămîne o posibilitate. Am făcut deja speculaţii vaste despre activităţile superfiinţelor care pot săvîrşi obiective fizice şi intelectuale miraculoase împotriva sorţilor de izbîndă. Am aruncat o privire scurtă şi asupra posibilităţii ca gîndurile să nu cunoască limite, chiar dacă universul le are.

Dar pot oare aceste scenarii alternative să ne aline? Un prieten remarca odată că din ceea ce a auzit despre paradis, acesta nu-l prea interesează. Perspectiva de a trăi veşnic într-o formă de echilibru sublim i se pare chiar neatrăgătoare. Este mai bine să mori rapid şi să termini decît să faci faţă plictisitoarei vieţi eterne. Dacă imortalitatea este limitată la a avea aceleaşi gînduri şi experienţe care să se repete mereu, într-adevăr ea pare lipsită de sens. Totuşi, dacă imortalitatea este asociată cu progresul, atunci ne putem imagina trăind într-o stare de perpetuă înnoire, mereu învăţînd sau făcînd ceva nou şi interesant. Întrebarea este — pentru ce? Cînd fiinţele umane se angajează la un proiect, ele au în minte un anume ţel. Dacă ţelul nu a fost atins, atunci proiectul a eşuat (deşi experienţa nu este neapărat lipsită de valoare). Pe de altă parte, dacă scopul este atins, proiectul se va încheia şi activitatea va înceta. Dar poate oare exista un adevărat scop într-un proiect care nu se încheie *niciodată*? Poate existenţa să aibă sens dacă ea constă dintr-o călătorie nesfîrşită către o destinaţie ce nu se atinge niciodată?

Dacă există un ţel al universului şi el îşi atinge ţinta, atunci el trebuie să se sfîrşească, deoarece existenţa sa continuă ar fi nejustificată şi fără sens. Invers, dacă universul durează pe vecie, e greu de imaginat că el ar avea vreun scop final. Astfel, moartea cosmică ar putea fi preţul plătit pentru succesul cosmic. Atunci putem spera cel mult că scopul universului se va dezvălui descendenţilor noştri înainte de sfîrşitul ultimelor trei minute.

BIBLIOGRAFIE

Barrow, John D., Tipler, Frank J., *The Anthropic Cosmological Principle*, Oxford, Oxford University Press, 1986.

Burrows, Adam, „The Birth of Neutron Stars and Black Holes", în *Physics Today*, 40 (1987) 9: 28.

Chapman, Clark R., Morrison, David, *Cosmic Catastrophes*, New York & London, Plenum Press, 1989.

Close, Frank, *End: Cosmic Catastrophe and the Fate of the Universe*, New York, Simon & Schuster, 1988.

Coleman, Sidney, De Luccia, Frank, „Gravitational Effects on and of Vacuum Decay" în *Physical Review D*, 21 (1980) 3305.

Davies, Paul, *The Cosmic Blueprint*, New York, Simon & Schuster, 1989.

— *The Mind of God*, New York, Simon & Schuster, 1991.

Dyson, Freeman J., „Time without End: Physics and Biology in an Open Universe", în *Reviews of Modern Physics*, 51 (1979) 447.

Gold, Thomas, „The Arrow of Time", în *American Journal of Physics*, 30 (1962) 403.

Hawking, Stephen W., *A Brief History of Time: From the Big Bang to Black Holes*, New York, Bantam, 1988.

Hut, Piet, Rees, Martin J., „How Stable Is Our Vacuum?", în *Nature*, 302 (1983) 508.

Islam, Jamal N., *The Ultimate Fate of the Universe*, Cambridge, Cambridge University Press, 1983.

Linde, Andrei D., *Particle Physics and Inflationary Cosmology*, New York, Gordon & Breach, 1991.

Luminet, Jean-Pierre, *Black Holes*, Cambridge, Cambridge University Press, 1992.

Misner, Charles W., Thorne, Kip S., Wheeler, John A., *Gravitation*, San Francisco, W. H. Freeman, 1970.

Page, Don, McKee, Randall, „Eternity Matters" în *Nature*, 291 (1981) 44.

Rees, Martin J., „The Collapse of the Universe: An Eschatological Study" *The Observatory*, 89 (1969) 193.

Smolin, Lee, „Did the Universe Evolve", în *Classical and Quantum Gravity*, 9 (1992) 173.

Tipler, Frank J., *The Physics of Immortality*, New York, Doubleday, 1994.

Tolman, Richard C., *Relativity, Thermodynamics, and Cosmology*, Oxford, Clarendon Press, 1934.

Turner, Michael S., Wilczek, Frank, „Is Our Vacuum Metastable?", în *Nature*, 298 (1982) 633.

Waldrop, M. Mitchell, *Complexity: The Emerging Science at the Edge of Order and Chaos*, New York, Simon & Schuster, 1992.

Weinberg, Steven, *The First Three Minutes: A Modern View of the Origin of the Universe*, ed. modernizată, New York, Basic Books, 1988.

CUPRINS

Prefaţă		7
1.	Ziua judecăţii de apoi	13
2.	Agonia universului	21
3.	Primele trei minute	32
4.	Destinul stelelor	51
5.	Căderea nopţii	65
6.	Cîntărind universul	84
7.	Pentru totdeauna reprezintă un timp îndelungat	100
8.	Viaţa în ritm lent	119
9.	Viaţa în ritm rapid	140
10.	Moarte bruscă — şi renaştere	149
11.	Lumi fără sfîrşit?	163
Bibliografie		179

SCIENCE MASTERS

Seria SCIENCE MASTERS, publicată simultan în peste 25 de limbi, va cuprinde 12 cărţi de difuzare a informaţiei ştiinţifice într-o formă atractivă, accesibilă publicului larg. Oameni de ştiinţă eminenţi din domenii ce merg de la astrofizică pînă la zoologie îşi fac cunoscute aici ideile şi teoriile cele mai noi.

Eu văd acest proiect ca pe un năvod aruncat peste lume. Recolta va fi următoarea generaţie de gînditori şi oameni de ştiinţă ai planetei noastre.

DANIEL C. DENNETT

Imaginaţi-vă că aţi fi astronaut şi aţi cădea tot mai adînc într-o gaură neagră sau că sînteţi martorul ultimei zile a soarelui, al începutului pieirii stelelor, al lungilor momente de după dispariţia luminii cînd n-a mai rămas decît gravitaţia aşteptînd să strivească toată materia încă existentă.

Cum va sfîrşi lumea? Dar va sfîrşi ea vreodată? Dacă da – atunci ce se va întîmpla cu noi? Pot să supravieţuiască urmaşii noştri sfîrşitului universului?

O SERIE LANSATĂ CONCOMITENT ÎN PESTE 50 DE ŢĂRI